



Pohon pro motorové hasičské čerpadlo

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Hubert Odstrčilík**
Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Petrů, Ph.D.





Drive design for motor fire pump

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering

Author: **Hubert Odstrčilík**
Supervisor: doc. Ing. Michal Petrů, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Hubert Odstrčilík**

Osobní číslo: **S15000139**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojní inženýrství**

Název tématu: **Pohon pro motorové hasičské čerpadlo**

Zadávací katedra: **Katedra částí a mechanismů strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Navrhnete pohon pro motorové hasičské čerpadlo, které vyrábí firma Pavliš a Hartman. Vstupní hodnoty budou, výkon 15kW, vstupní otáčky 8000 ot/min. Navrhnutý pohon povede k redukci na otáčky v režimu 4500 - 6000 ot./min.

Obsah bakalářské práce

1. Představení úkolu
2. Průzkum potencionálních řešení
3. Vypracování 3D sestavy pohonu, výkresové dokumentace sestavy vybraných dílů
4. Výpočtová zpráva
5. Ekonomické zhodnocení
6. Závěrečné zhodnocení

Rozsah grafických prací: přílohy dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 50
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

- [1] Pešík, L.: Části strojů. 1. díl. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-938-4
- [2] Pešík, L.: Části strojů. 2. díl. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-939-2
- [3] Moravec V.: Konstrukce strojů a zařízení 2. čelní ozubená kola. Vysoká škola báňská, Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2001, 291 s.
- [4] Mrkvica I.: Současné trendy v obrábění ozubených kol. Vysoká škola báňská, Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2011, 120 s.
- [5] Leinveber, J., Vávra, P.: Strojnické tabulky. Albra, Úvaly 2005. ISBN 80-736-01-6
- [6] Bureš M.: Návrh a pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol. Skriptum TU Liberec Ediční středisko 2006.
- [7] Normy pro návrh a pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol ČSN 014686-4 nebo ČSN ISO 6336-5 (014687) Výpočet únosnosti čelních ozubených kol s přímými a šikmými zuby - několik dílů, nebo ANSI/AGMA 20010B88, 2001-C95 nebo normou 2001-D04, nebo ANSI/AGMA 908-B89.
- [8] Normy pro mezní úchytky a tolerance ozubených kol a soukolí ČSN 014682 nebo novější ČSN ISO 1328-1 Čelní ozubená kola - Soustava přesnosti ISO a ČSN 01 4676 - Ozubená kola - Měření ozubených kol čelních se šikmými zuby.
- [9] Výpočetní programy AutoDESK- Mechsoft, KISS SOFT, MITCALc,
- [10] Databáze knihovny TUL

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Michal Petřů, Ph.D.
Katedra částí a mechanismů strojů

Datum zadání bakalářské práce: 12. února 2018
Termín odevzdání bakalářské práce: 12. srpna 2019

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 12. února 2018

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Michal Petru, Ph.D. za poskytnuté cenné rady a ochotu při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat paní prof. Ing. Ivě Nové, CSc. za poskytnuté informace ohledně cenové náročnosti technologie odlévání.

Anotace:

Bakalářská práce obsahuje konstrukci pohonného systému pro motorové hasičské čerpadlo. Teoretická část se zabývá historií požárních stříkaček a čerpadel používaných v těchto strojích. Dále práce zahrnuje konstrukční návrh pohonného systému zasazeného do rámu. Ke konstrukčnímu návrhu je zhotovena výpočtová zpráva, 3D model a výkresová dokumentace některých součástí.

Klíčová slova:

čerpadlo, ozubená kola, hřídel, pevnostní kontrola, ložiska, těsná pera, zubová spojka, převodová skříň

Annotation:

The bachelor thesis focuses on a contrruction of a propulsion system for a firefighter motor pump. The theoretical part describes history of fire-engine pump and pumps used in these machines. Furthermore, the thesis contains a construction design of the propulsion system inset into a frame. A computational report, a 3D model and a drawing documentation of some components are prepared for the design.

Keywords:

pump, gear, shaft, strength control, bearings, gear box

Obsah

Úvod	15
1 Cíle práce	16
2 Teorie požárních stříkaček	16
2.1 Historie požárních stříkaček.....	16
2.2 Pístová čerpadla	17
2.3 Odstředivá čerpadla.....	18
3 Návrh konstrukčního řešení pohonného systému.....	19
3.1 Pohon pro hasičské motorové čerpadlo.....	19
3.2 Spojka.....	20
3.3 Řadící mechanismus.....	21
3.4 Oběžné kolo čerpadla	22
3.5 Převodová skříň.....	22
4 Výpočtová zpráva pro převodové ústrojí	24
4.1 Výpočtové schéma	24
4.2 Vstupní parametry	24
4.3 Výpočet základních parametrů.....	25
4.3.1 Výpočet sil od oběžného kola odstředivého čerpadla.....	25
4.4 Kuželové soukolí 12 se šikmými zuby.....	26
4.4.1 Geometrie soukolí.....	26
4.4.2 Silové poměry	29
4.4.3 Pevnostní kontrola soukolí.....	29
4.5 Čelní ozubené soukolí 34 se šikmými zuby	31
4.5.1 Geometrie soukolí.....	31
4.5.2 Silové poměry	32
4.5.3 Pevnostní kontrola	33

4.6	Čelní ozubené soukolí 56 se šikmými zuby	35
4.6.1	Geometrie soukolí	35
4.6.2	Korekce soukolí	36
4.6.3	Silové poměry	37
4.6.4	Pevnostní kontrola	38
4.7	Výpočet hřídelů	40
4.7.1	Vstupní hřídel	40
4.7.2	Návrh vstupní hřídele.....	42
4.7.3	Předlohová hřídel.....	44
4.7.4	Návrh předlohové hřídele	48
4.7.5	Výstupní hřídel	50
4.7.6	Návrh výstupní hřídele.....	54
4.8	Návrh ložisek	55
4.8.1	Návrh ložisek na vstupní hřídeli	56
4.8.2	Návrh ložisek na předlohové hřídeli	56
4.8.3	Návrh ložisek na výstupní hřídeli	57
4.9	Návrh těsných per	58
4.9.1	Vstupní hřídel	58
4.9.2	Předlohová hřídel	59
4.9.3	Výstupní hřídel	59
5	Konstrukční řešení převodového systému	60
6	Konstrukční návrh rámu pro uložení pohonného systému	62
6.1	Pevnostní výpočet rámu	63
7	Ekonomické zhodnocení.....	64
7.1	Rozvaha nákladů na ekonomické zhodnocení převodové skříně.....	64

7.2	Rozvaha nákladů na ekonomické zhodnocení dalších komponentů převodovky	65
8	Závěr	66
	Použitá literatura:	67

Seznam příloh:

Příloha S-1-	Výkres sestavy
Příloha K-1-	Kusovník 1
Příloha K-2-	Kusovník 2
Příloha K-3-	Kusovník 3
Příloha 1-	Čelní ozubené kolo
Příloha 2-	Tyč řadící páky
Příloha 3-	Vstupní víko
Příloha 4-	Vstupní hřídel

Seznam obrázků:

Obr. 2.1 Princip funkce jednočinného pístového čerpadla [3].	17
Obr. 2.2 Princip funkce odstředivého čerpadla [4].	18
Obr. 3.1 Motorové hasičské čerpadlo.	19
Obr. 3.2 Spojka TschanNormex E-067/82ShA [5].	20
Obr. 3.3 Synchronizační spojka [6].	21
Obr. 3.4 Oběžné kolo - 10-11 mm – standard [7].	22
Obr. 3.5 Převodová skříň.	23
Obr. 4.1 Schématické znázornění převodovky.	24
Obr. 4.2 Schéma vstupní hřídele s grafem ohybového momentu v rovině xz.	40
Obr. 4.3 Schéma vstupní hřídele s grafem ohybového momentu v rovině xy.	40
Obr. 4.4 Schéma předlokové hřídele (1. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xz.	44
Obr. 4.5 Schéma předlokové hřídele (1. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xy.	44
Obr. 4.6 Schéma předlokové hřídele (2. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xz.	46
Obr. 4.7 Schéma předlokové hřídele (2. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xy.	46
Obr. 4.8 Schéma výstupní hřídele (1. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xz...	50
Obr. 4.9 Schéma výstupní hřídele (1. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xy.	50
Obr. 4.10 Schéma výstupní hřídele (2. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xz.	52
Obr. 4.11 Schéma výstupní hřídele (2. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xy.	52
Obr. 5.1 Převodové ústrojí bez skříňe.	61
Obr. 5.2 Převodové ústrojí.	61
Obr. 6.1 Rám.	62
Obr. 6.2 Rukojeť rámu.	62
Obr. 6.3 Napětí v rámu.	63
Obr. 6.4 Průhyb v rámu.	63

Seznam tabulek:

Tab. 3.1 Rozměry oběžného kola.	22
Tab. 4.1 Vstupní parametry.	24
Tab. 4.2 Materiálové konstanty kuželového soukolí se šikmými zuby.	26
Tab. 4.3 Materiálové konstanty čelního soukolí 34 se šikmými zuby.	31
Tab. 4.4 Materiálové konstanty čelního soukolí 56 se šikmými zuby.	35
Tab. 4.5 Materiálové konstanty vstupní hřídele.	42
Tab. 4.6 Materiálové konstanty předlokové hřídele.	48
Tab. 4.7 Materiálové konstanty výstupní hřídele.	54
Tab. 7.1 Cena normalizovaných součástí a zubové spojky.	65

Seznam použitých zkratek

– zkratky základních parametrů

d_c	průměr oběžného kola	[mm]
F_{ac}	axiální síla od oběžného kola	[N]
F_c	radiální síla od oběžného kola	[N]
i	převodový poměr	[-]
M_k	krouticí moment	[N*m]
n	otáčky	[ot*min ⁻¹]
P	výkon	[W]
s	šířka drážky oběžného kola	[mm]

– zkratky geometrie ozubených kol a silových poměrů

a	osová vzdálenost	[mm]
a'_v	osová vzdálenost 1. virtuálního kola	[mm]
a_w	volená osová vzdálenost	[mm]
b	šířka ozubeného kola	[mm]
c^*	součinitel hlavové vřule	[-]
d	průměr roztečné kružnice	[mm]
d'_v	průměr roztečné kružnice 1. virtuálního kola	[mm]
d'_{va}	průměr hlavové kružnice 1. virtuálního kola	[mm]
d'_{vb}	průměr základní kružnice 1. virtuálního kola	[mm]
d_a	průměr hlavové kružnice	[mm]
d_{ae}	průměr vnější hlavové kružnice	[mm]
d_b	průměr základní kružnice	[mm]
d_e	průměr vnější roztečné kružnice	[mm]
d_f	průměr patní kružnice	[mm]
d_{fe}	průměr vnější patní kružnice	[mm]
d_m	průměr střední roztečné kružnice	[mm]
d_v	průměr roztečné kružnice 2. virtuálního kola	[mm]
F_a	axiální síla	[N]
F_r	radiální síla	[N]
F_t	obvodová síla	[N]
h^*_a	součinitel výšky hlavy zubu	[-]
h_{ae}	výška hlavy zubu vnějšího doplňkového kužele	[mm]
h_{am}	výška hlavy zubu středního doplňkového kužele	[mm]
h_{fe}	výška paty zubu vnějšího doplňkového kužele	[mm]
L_e	kuželová vzdálenost vnější	[mm]
L_m	kuželová vzdálenost střední	[mm]
m_n	normálový modul	[mm]
m_{nm}	normálový modul střední	[mm]
m_t	čelní modul	[mm]
m_{te}	tečný modul vnější	[mm]
m_{tm}	tečný modul střední	[mm]
p_t	čelní rozteč čelních kol	[mm]
p_{tb}	základní rozteč čelních kol	[mm]

p_{tm}	čelní rozteč kuželového kola	[mm]
p_{tmb}	základní rozteč kuželového kola	[mm]
x	jednotkové posunutí	[mm]
z	počet zubů	[-]
z'_v	počet zubů 1. virtuálního kola	[-]
z_v	počet zubů 2. virtuálního kola	[-]
α_n	normálový úhel záběru	[°]
α_{nm}	střední normálový úhel	[°]
α_t	čelní úhel záběru	[°]
α_{vt}	provozní úhel záběru	[°]
β	úhel sklonu zubů	[°]
β_m	střední úhel sklonu zubů	[°]
δ	úhel roztečného kužele	[°]
Δy	součinitel přisunutí	[mm]
ε	součinitel trvání záběru	[-]
ε_α	součinitel trvání záběru ε_α	[-]
ε_β	součinitel trvání záběru ε_β	[-]
Σ	úhel svírající kuželová kola	[°]

– **zkratky pevnostní zkoušky ozubených kol**

K_A	součinitel vnějších dynamických sil	[-]
K_{AS}	součinitel vnějších dynamických sil pro výpočet s ohledem na trvalou deformaci, vznik trhliny nebo křehkého lomu z jednorázového přetížení	[-]
K_F	součinitel přidavných zatížení (ohyb)	
K_H	součinitel přidavných zatížení (dotyk)	[-]
K_{Hv}	součinitel vnitřních dynamických sil (dotyk)	[-]
$K_{H\alpha}$	součinitel podílu zatížení jednotlivých zubů (dotyk)	[-]
$K_{H\beta}$	součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubů po šířce (dotyk)	[-]
S_{Fmin}	nejmenší hodnota součinitele bezpečnosti proti vzniku únavového lomu v patě zubu	
Y_ε	součinitel vlivu záběru profilu (ohyb)	
Y_{FS}	součinitel tvaru zubu a koncentrace napětí	
Y_β	součinitel sklonu zubu	
Z_ε	součinitel součtové délky dotykových křivek boků zubů	[-]
Z_E	součinitel mechanických vlastností materiálu	[MPa ^{1/2}]
Z_H	součinitel tvaru spoluzabírajících zubů	[-]
Z_R	součinitel výchozí drsností boků zubů	[-]
σ_F	ohybové napětí v nebezpečném průřezu paty zubu	[MPa]
σ_{Flimb}	mez únavy v ohybu (stanovené z σ_{Flimb}^0)	[MPa]
σ_{Fmax}	největší místní ohybové napětí v patě zubu, vzniklé působením síly F_t	[MPa]
σ_{FP}	přípustné napětí v ohybu	[MPa]
σ_{FPmax}	přípustné napětí v ohybu při největší zatížení	[MPa]
σ_{FSt}	pevnost v ohybu při největším zatížení	[MPa]

σ_H	napětí v dotyku ve valivém vodě	[MPa]
σ_{Hlim}	mez únavy v dotyku (stanovené z σ_{Hlim}^0)	[MPa]
σ_{Hmax}	největší napětí v dotyku vzniklé působením síly F_t	[MPa]
σ_{HO}	napětí v dotyku při ideálním zatížení přesných zubů	[MPa]
σ_{HP}	přípustné napětí v dotyku	[MPa]
σ_{HPmax}	přípustné napětí v dotyku při největším zatížení F_t	[MPa]

– zkratky hřídelů

d	průměr hřídele	[mm]
d_0	průměr hřídele zkušební vzorku	[mm]
k	celková bezpečnost	[-]
k_k	bezpečnost v krutu	[-]
k_o	bezpečnost v ohybu	[-]
M_o	ohybový moment	[N*m]
$M_{o(vrub)}$	ohybový moment ve vrubu	[N*m]
M_{omax}	maximální ohybový moment	[N*m]
q	vrubová citlivost materiálu	[-]
$r_{(vrub)}$	rádius vrubu	[mm]
α	tvarový součinitel	[-]
β	vrubový součinitel	[-]
η	součinitel vlivu jakosti povrchu součásti	[-]
v	součinitel velikosti součásti	[-]
σ_{co}	mez únavy zkušební vzorku pro střídavý ohyb	[MPa]
σ_{co}^*	mez únavy pro střídavý ohyb	[MPa]
σ_o	napětí v ohybu	[MPa]
τ_k	napětí v krutu	[MPa]
τ_{kk}	mez únavy pro krut	[MPa]

– zkratky ložisek

F_R	radiální zatížení	[N]
F_A	axiální zatížení	[N]
P	ekvivalentní dynamické zatížení ložiska	[N]
C	základní dynamická únosnost	[N]
p	mocnitel	[-]
L_H	základní trvanlivost	[hodin]
e	limit pro poměr zatížení	[-]
Y	výpočetní součinitel axiálního zatížení	[-]
X	výpočetní součinitel radiálního zatížení	[-]

– zkratky pera

h	výška pera	[mm]
b	šířka pera	[mm]
p_D	dovolený tlak	[MPa]
l_p	užitečná délka pera	[mm]
l	délka pera	[mm]

Úvod

Konstruováním nových zařízení a inovací stávajících se lidstvo zabývá už od dávných dob. Vlivem tohoto úsilí vzniká technický pokrok, který uživatelům vzniklých zařízení dokáže velmi pomoci při práci, ale také k zpříjemnění života. Zařízení se skládají ze součástí, které jsou při návrhu vytvořené konstruktérem a ve velkém množství případů se přidávají normalizované součástky. Použitím normalizovaných součástí jsme schopni snížit cenu celku, jelikož jejich výroba je již zavedena.

Součástí strojů je pohonný systém, který musí být navržen tak, aby splňoval všechny požadavky pro správnou funkci. Musí dodávat poháněnému zařízení dostatečný příkon a zároveň musí plnit rozměrové požadavky, dostatečnou životnost, přiměřenou hlučnost atd. Zjednodušeně řečeno, musí splňovat požadavky zákazníka. Vlivem technického pokroku vznikly různé metody pro zjištění správné dimenzace součástí. Dříve se výpočty prováděly pouze na papír, kdežto dnešní doba poskytuje moderní softwary, které tuto práci velmi ulehčí.

1 Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je návrh pohonného systému pro motorové hasičské čerpadlo podle zadaných parametrů. Jedná se zejména o návrh převodovky, ke které bude zhotovena výkresová dokumentace. Díly převodovky musí být správně navrženy, k čemuž slouží výpočtová zpráva. V první řadě jde o návrh ozubených kol, který podléhá pevnostní kontrole. Dále o návrh hřídelů, který závisí na kritériu požadované bezpečnosti a neméně důležité je správné zvolení ložisek, ke kterým je nezbytný výpočet životnosti. Dalším krokem je propojení vstupní hřídele převodovky se spalovacím motorem pomocí spojky a výstupní hřídele s čerpadlem. Na závěr celé soustrojí usadíme do námi navrhnutého rámu.

2 Teorie požárních stříkaček

2.1 Historie požárních stříkaček

Požáry trápí lidstvo už od nepaměti, proto se snaží vyvinout co nejefektivnější způsob jejich likvidace. V minulosti lidé využívali jako nástroje k hašení požárů různé nádoby, vědra atd. Kolem roku 250 před naším letopočtem vynalezl řecký učenec Ktesibos první pumpu.

Až do roku 1829 se používala pístová čerpadla na ruční pohon. V tomto roce se začala objevovat první čerpadla tohoto typu, vylepšena o pohon parním strojem. Konstrukce byla stejná jako u ručního pohonu, proto při poruše parního stroje bylo možné přejít na ruční pohon. Hlavní nevýhodou použití parního stroje byla potřebná doba na rozběh, která se pohybovala kolem 12-15 minut. Tato nevýhoda byla kompenzována větším výkonem čerpadla, kterému přispíval pohon parním strojem.

Roku 1892 se objevila první hasičská stříkačka poháněná spalovacím motorem. Její zavedení do běžné výbavy hasičských sborů trvalo ještě několik let, protože se musely odstranit konstrukční nedostatky ve spolehlivosti.

Počátkem 20. století začala pístová čerpadla nahrazovat odstředivá čerpadla. Hlavními důvody byly nižší hmotnost a stálý tlak vody, který není pístové čerpadlo

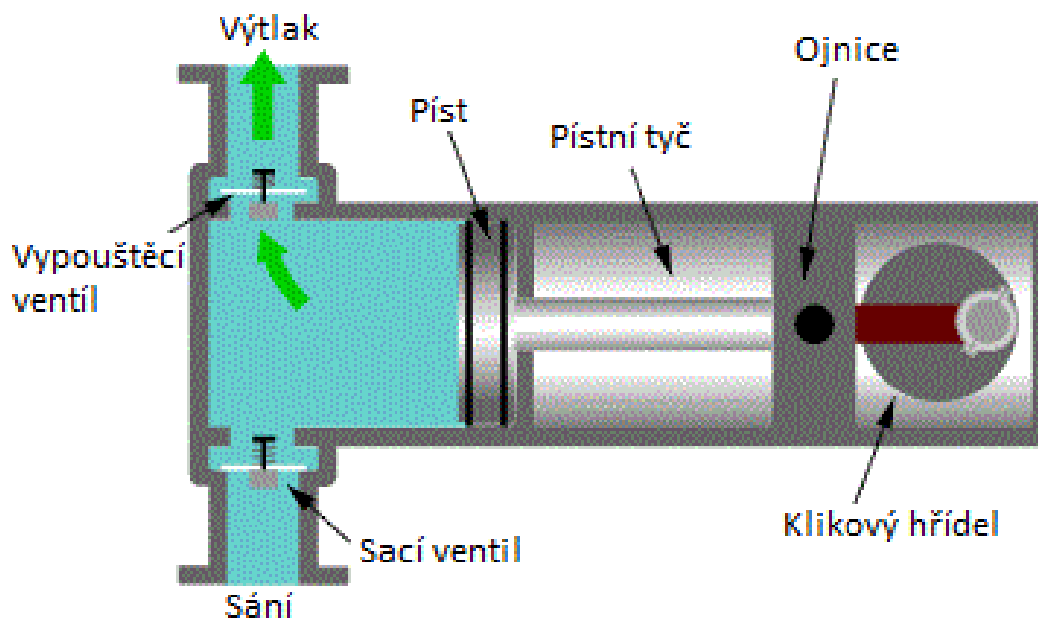
schopno poskytnout. Ve spojení se spalovacím motorem už představují dnešní pohled na hasičské stříkačky [1].

2.2 Pístová čerpadla

Pístová čerpadla patří mezi základní typ hydrostatických čerpadel, což jsou stroje s přímou přeměnou energie. Princip funkce pístových čerpadel nejlépe popíšeme na jednočinném pístovém čerpadle.

Při sacím zdvihu se prostor válce vlivem podtlaku začne plnit čerpanou kapalinou, která vstupuje přes otevřený sací ventil. V této fázi je výtlačný ventil uzavřen. Po nasátí kapaliny do čerpadla nastává druhá fáze výtlačku kapaliny. Při výtlačném zdvihu začne píst tlačit na kapalinu, vlivem tlaku se sací ventil uzavře a výtlačný otevře, kterým kapalina proudí do potrubí. Tento cyklus se opakuje.

Hlavní nevýhodou je nestálý tlak dodávané kapaliny vlivem času, který je potřeba pro sací zdvih. Tento problém se dá z velké části eliminovat použitím jiného pístového čerpadla než jednočinného (např. dvojčinné pístové čerpadlo, diferenciální pístové čerpadlo). Výhodami jsou přesné dávkování kapaliny a práce s vysokými tlaky [2].

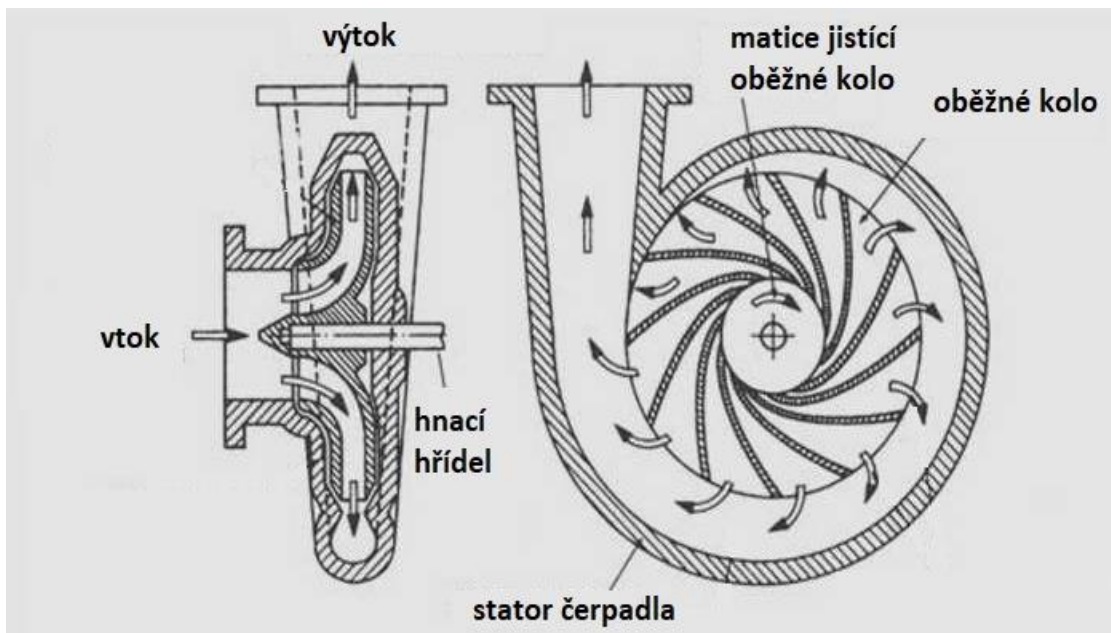


Obr. 2.1 Princip funkce jednočinného pístového čerpadla [3].

Pohon pístového čerpadla nemusí být řešen pouze transformací rotačního pohybu na přímočarý pohyb. U pístových čerpadel na ruční pohon bylo využíváno k funkci čerpadla páky.

2.3 Odstředivá čerpadla

Odstředivá čerpadla jsou hydrodynamická radiální čerpadla. Základní rozdělení hydrodynamických čerpadel je podle směru toku kapaliny na výstupu. Do tohoto rozdělení patří radiální, axiální a diagonální hydrodynamická čerpadla. Odstředivá čerpadla se dělí na horizontální a vertikální. Součástí oběžného kola jsou lopatky, které při rotačním pohybu udělí nasáté kapalině kinetickou a tlakovou energii. Energii začíná kapalina získávat už na vstupní hraně oběžného kola a končí na výstupní hraně. V další fázi proudí kapalina do difuzoru, kde je většina kinetické energie přeměněna na tlakovou a dále kapalina proudí do hadice nebo potrubí. Existuje několik konstrukčních řešení oběžných kol pro odstředivá čerpadla. Odstředivá čerpadla jsou vhodnější pro větší průtoky než pístová, proto je shledáváme pro využití u požárních čerpadel výhodnějšími [2].



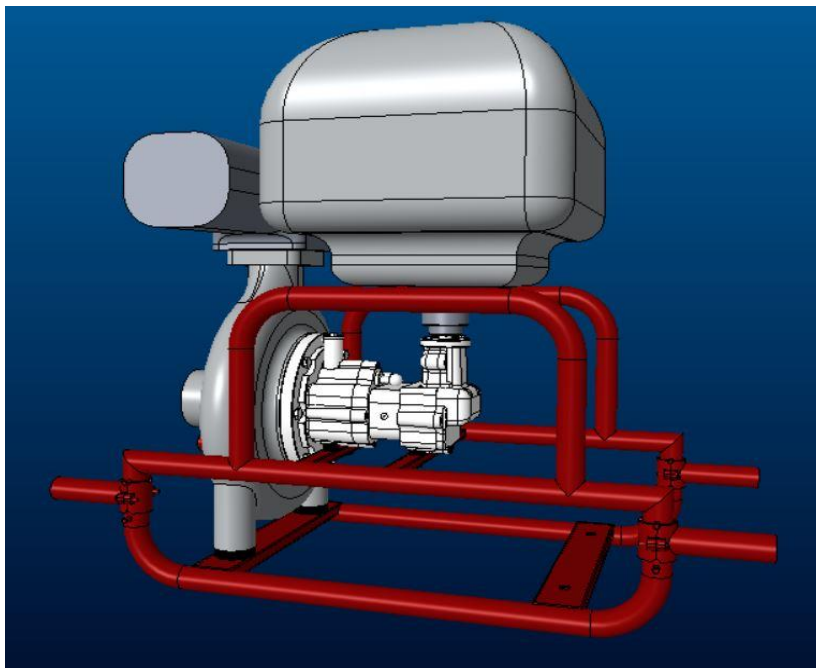
Obr. 2.2 Princip funkce odstředivého čerpadla [4].

3 Návrh konstrukčního řešení pohonného systému

V nadcházejících kapitolách bude popsán kompletní návrh pohonného systému pro hasičské motorové čerpadlo. K tvorbě modelu a výkresové dokumentace existuje nespočet konstrukčních programů. V bakalářské práci využijeme PTC CreoParametric 3.0, který je uživatelsky velmi přívětivý.

3.1 Pohon pro hasičské motorové čerpadlo

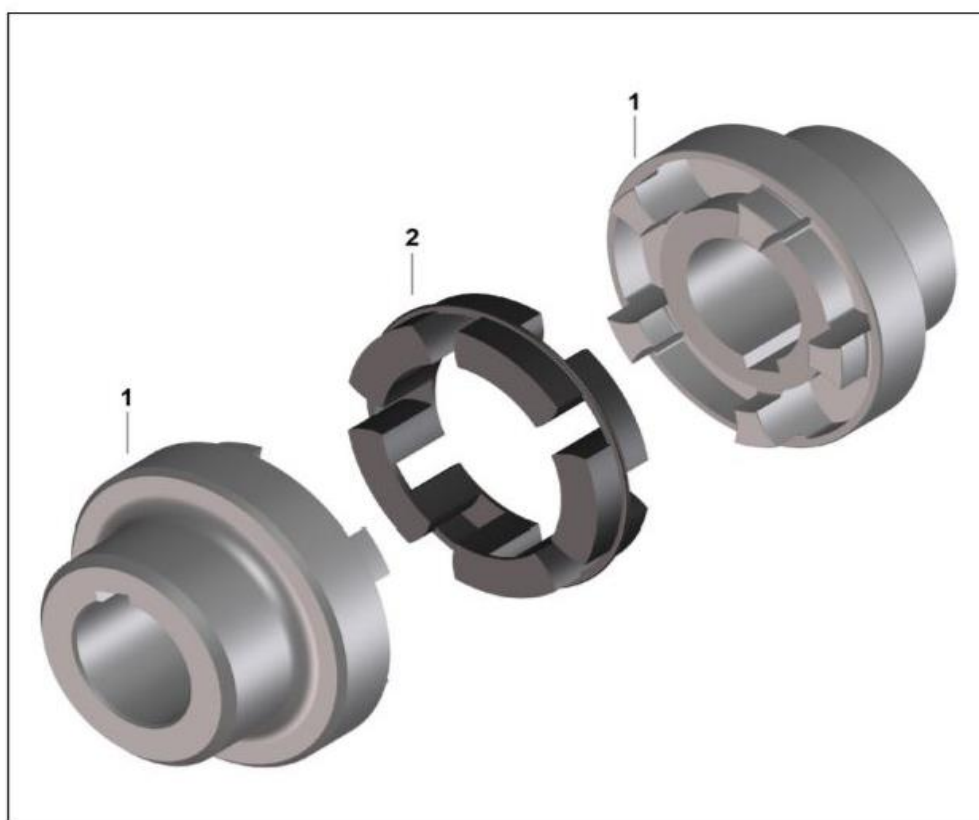
Pro přenos výkonu z motoru na oběžné kolo čerpadla využijeme převodovky. Jeden z důvodů, proč volíme tento způsob, je snaha využití spalovacího motoru s vertikálně vyvedenou klikovou hřídelí k pohonu. Na obrázku (viz obr. 3.1) je znázorněno propojení motoru, převodovky, čerpadla a vše je uložené v rámu. Jelikož odstředivá čerpadla využívaná u hasičských stříkaček nejsou schopna sama nasát vodu, je nutno využít vývěvy. Vývěva slouží k vysátí vzduchu ze sacího potrubí. V našem případě se jedná o plynovou vývěvu, která se připojí k výfukovému systému a k statorové části čerpadla.



Obr. 3.1 Motorové hasičské čerpadlo.

3.2 Spojka

Pro spojení motoru s převodovkou uplatníme torzně pružnou zubovou spojku TschanNormex E-067/82ShA (viz obr.3.2). Spojka přenáší krouticí moment přes zuby elastického mezikroužku vytvořeného z perbunanu, dvou kovových nábojů umístěných na klikové hřídeli motoru a vstupní hřídeli převodovky. Konstrukce spojky v určité míře kompenzuje úhlové, radiální a axiální přesazení, také může tlumit torzní kmitání. Využití nezávisí na poloze uložení ani na směru otáčení, ale pouze na přenášeném krouticím momentu a otáčkách [5].



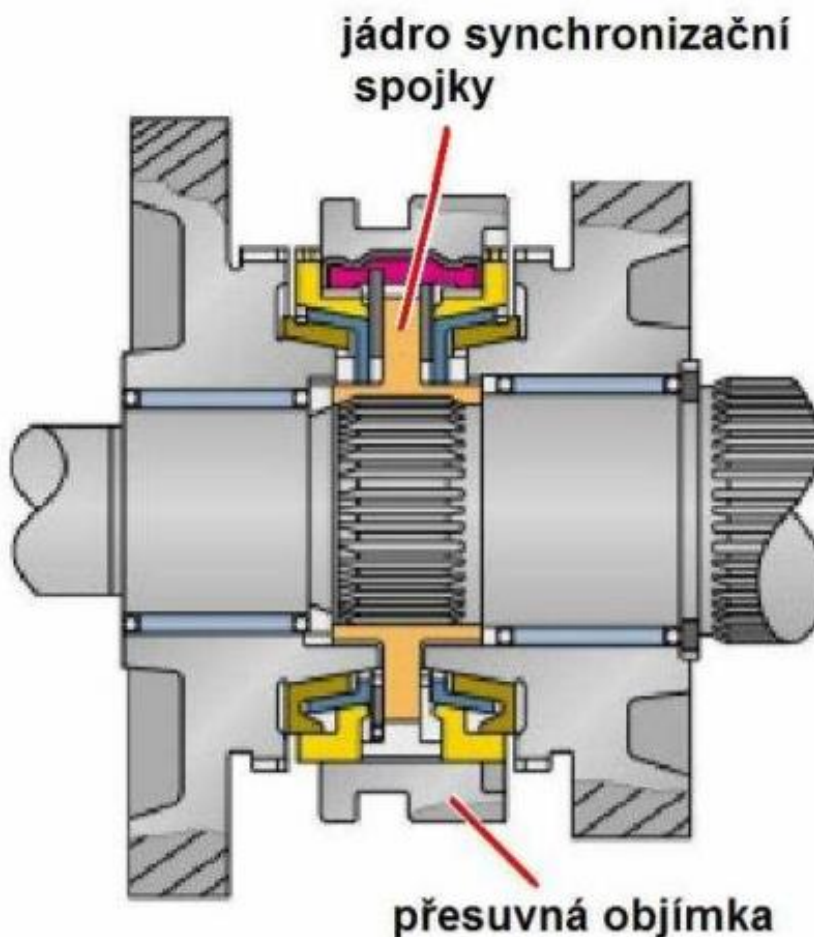
Obrázek č. 1 Sestava Nor-Mex[®] E

- 1 Spojkový náboj díl 101
- 2 Elastický mezikroužek díl 010

Obr. 3.2 Spojka TschanNormex E-067/82ShA [5].

3.3 Řadící mechanismus

Námi navržená převodovka disponuje možností výběru mezi dvěma převodovými stupni. Změna převodového stupně může být provedena použitím z několika řadících mechanismů. V našem případě volíme synchronizační spojku. Mezi její velké výhody patří řazení při chodu zařízení. Ozubená kola, mezi kterými je umístěna synchronizační spojka, jsou v stálém záběru uložena na ložiskách nebo na kluzných pouzdrech. V našem případě jsou dostačující kluzná pouzdra. Synchronizační spojka je kombinací třecí kuželové spojky a zubové spojky. Jádru spojky umístěné na hřídeli s drážkováním pomocí synchronizačních kroužků, vyrovná úhlové rychlosti hřídele s čelním ozubeným kolem. Po vyrovnání úhlových rychlostí se pomocí přesuvné objímky s vnitřním ozubením vytvoří pevné spojení [6].



Obr. 3.3 Synchronizační spojka [6].

3.4 Oběžné kolo čerpadla

Jak bylo uvedeno v kapitole 2.3 oběžné kolo je nedílnou součástí odstředivého čerpadla. Pro výpočet výstupní hřídele potřebujeme znát typ a velikost oběžného kola, abychom mohli zjistit síly, kterými bude hřídel zatěžována. V bakalářské práci volíme oběžné kolo - 10-11 mm – standard (viz obr. 3.4), které je sice primárně určené pro hasičské stříkačky s objemem motoru 1200 cm^3 , ale jedná se o kolo menších rozměrů, které lze uplatnit i u motorů s nižším objemem.

Tab. 3.1 Rozměry oběžného kola.

Název	Značka	Velikost	Jednotka
Průměr oběžného kola	d_c	221	[mm]
Šířka drážek oběžného kola	s	10 – 11	[mm]

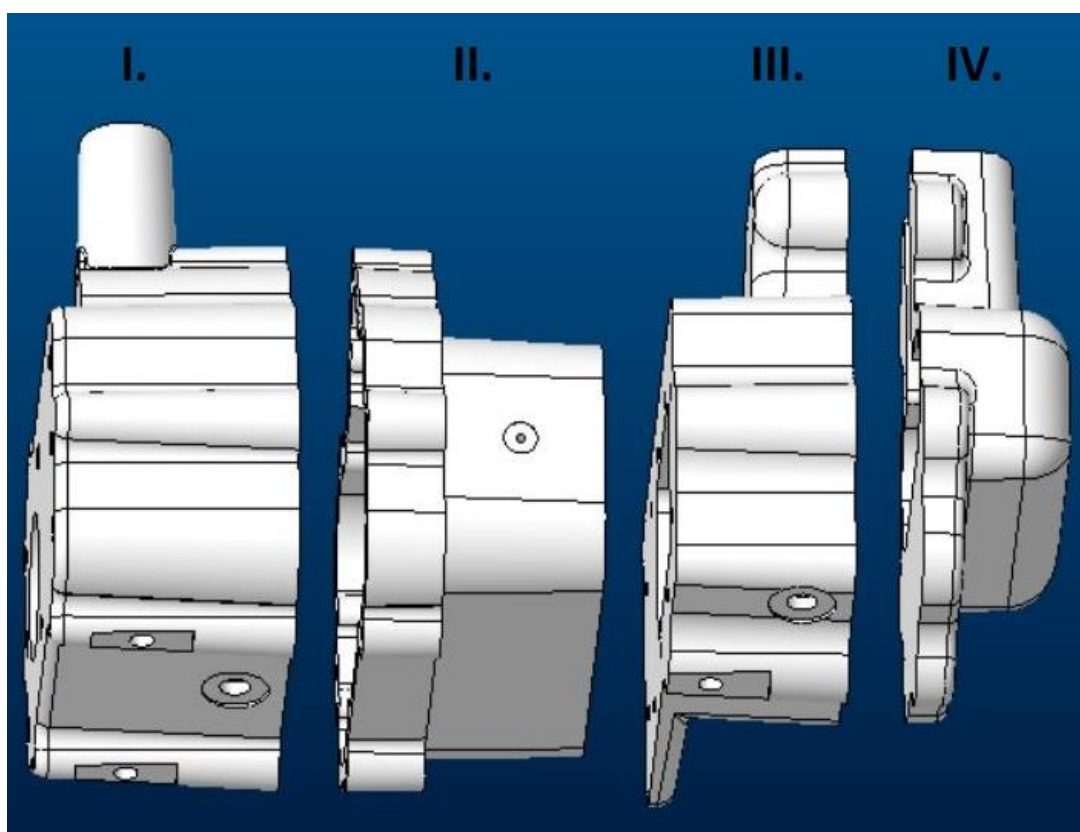


Obr. 3.4 Oběžné kolo - 10-11 mm – standard [7].

3.5 Převodová skříň

Převodová skříň musí být konstruována vzhledem k požadavkům na správnou funkčnost celé sestavy. Při návrhu musíme také hledět na předpokládaný počet vyrobených kusů. Tento fakt velice pomáhá při volbě nejvýhodnější technologie

výroby. V bakalářské práci předpokládáme větší počet vyrobených kusů, díky čemuž jsme usoudili, že pro výrobu zkonstruované skříně bude s ohledem na cenu a požadavky nejvhodnější zvolit technologii odlévání. Díly vyrobeny touto technologií musí být navrženy tak, aby splňovaly zásady návrhu odlitků. Mezi tyto zásady patří správně zvolené zkosení, zaoblení atd. Námi navrhnutá skříň se skládá ze čtyř částí. Část I. zahrnuje otvory pro vtok a výtok olejové lázně, která slouží k mazání. Ve spojení s částí II. tvoří celek pro uložení výstupní a předlokové hřídele s příslušnými komponenty bez kuželového kola se šikmými zuby. Následují části III. a IV., ve kterých je uloženo kuželové soukolí a vstupní hřídel s komponenty. Část IV. obsahuje druhý otvor pro výtok olejové lázně. Olejovou lázní není možné, z důvodu uspořádání, mazat ložiska na vstupní hřídeli. Tato ložiska jsou mazána plastickým mazivem. Jednotlivé části jsou spojeny pomocí šroubů. Konstrukční návrh skříně je uveden (viz obr. 3.5).

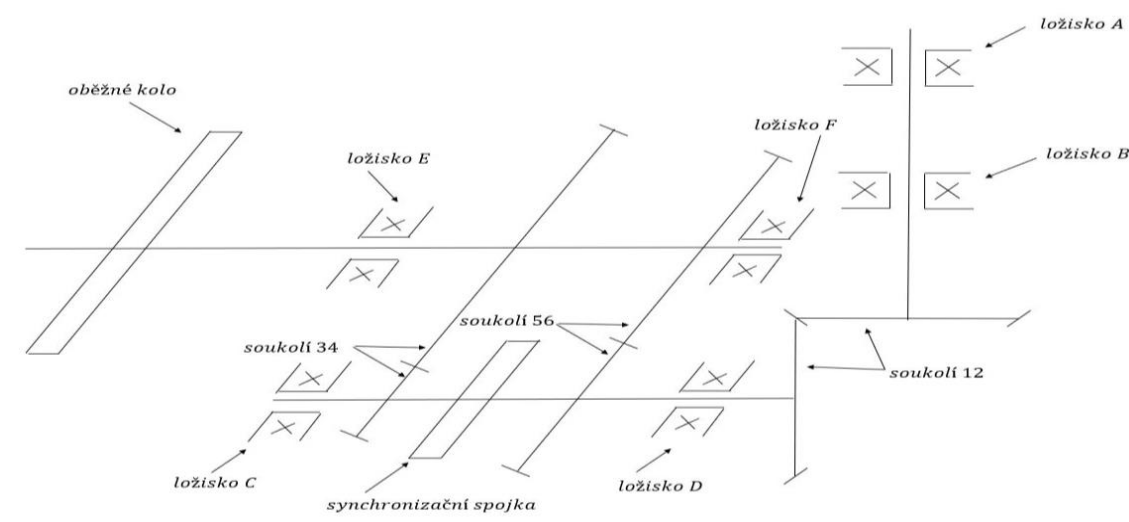


Obr. 3.5 Převodová skříň.

4 Výpočtová zpráva pro převodové ústrojí

Tato kapitola se zabývá výpočty potřebnými k navrhnutí převodovky. Jelikož málokdy všechny výpočty sedí hned na první pokus, je dobré využít výpočetních programů, které tuto práci velmi usnadní. Velkým pomocníkem jsou např. Matlab a wxMaxima, které jsme použili pro tvorbu výpočetní zprávy.

4.1 Výpočtové schéma



Obr. 4.1 Schématické znázornění převodovky.

4.2 Vstupní parametry

Tab. 4.1 Vstupní parametry.

Název	Značka	Velikost	Jednotka
Výkon motoru	P	15000	[W]
Vstupní otáčky	n_1	8000	$\left[\frac{ot}{min} \right]$
Výstupní otáčky 1.převod	n_2	4500	$\left[\frac{ot}{min} \right]$
Výstupní otáčky 2.převod	n_3	6000	$\left[\frac{ot}{min} \right]$

4.3 Výpočet základních parametrů

– převodové poměry

$$i_{k12} = 1 [-] \quad (4.3.1)$$

$$i_{c34} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{8000}{4500} = 1,78 [-] \quad (4.3.2)$$

$$i_{c56} = \frac{n_1}{n_3} = \frac{8000}{6000} = 1,33 [-] \quad (4.3.3)$$

– krouticí momenty

$$M_{k1} = \frac{60 * P}{2 * \pi * n_1} = \frac{60 * 15000}{2 * \pi * 8000} = 17,9 [N * m] \quad (4.3.4)$$

$$M_{k2} = M_{k1} * i_{k12} = 17,9 * 1 = 17,9 [N * m] \quad (4.3.5)$$

$$M_{k3-34} = M_{k2} * i_{c34} = 17,9 * 1,78 = 31,86 [N * m] \quad (4.3.6)$$

$$M_{k3-56} = M_{k2} * i_{c56} = 17,9 * 1,33 = 23,81 [N * m] \quad (4.3.7)$$

4.3.1 Výpočet sil od oběžného kola odstředivého čerpadla

– radiální síla při zařazeném prvním rychlostním stupni

$$F_{c1} = \frac{2 * M_{k3-34}}{d_c} = \frac{2 * 31,86}{221 * 10^{-3}} = 288,33 N \quad (4.3.8)$$

– radiální síla při zařazení druhého rychlostního stupně

$$F_{c2} = \frac{2 * M_{k3-56}}{d_c} = \frac{2 * 23,81}{221 * 10^{-3}} = 215,48 N \quad (4.3.9)$$

Pro výpočet axiální síly od oběžného kola, uvažujeme přibližnou hodnotu $F_{ac} = \frac{1}{2} * F_c$.

– axiální síla při zařazeném prvním rychlostním stupni

$$F_{ac1} = \frac{1}{2} * F_{c1} = \frac{1}{2} * 288,33 = 144,17 [N] \quad (4.3.10)$$

– axiální síla při zařazení druhého rychlostního stupně

$$F_{ac2} = \frac{1}{2} * F_{c2} = \frac{1}{2} * 215,48 = 107,74 [N] \quad (4.3.11)$$

4.4 Kuželové soukolí 12 se šikmými zuby

Tab. 4.2 Materiálové konstanty kuželového soukolí se šikmými zuby.

	Hnací kolo (kolo1)	Hnané kolo (kolo2)
Materiál	12 051.4	12 051.4
R_m	640 [MPa]	640 [MPa]
R_e	390 [MPa]	390 [MPa]
σ_{Hlim}°	1140 [MPa]	1140 [MPa]
σ_{Flimb}°	390 [MPa]	390 [MPa]
V_{HV}	600 [MPa]	600 [MPa]

– volené parametry

$$z_1 = 20 [\text{zubů}] \quad (4.4.1)$$

$$z_2 = z_1 * i_{k12} = 20 * 1 = 20 [\text{zubů}] \quad (4.4.2)$$

$$m_{te} = 3,5 [\text{mm}] \quad (4.4.3)$$

$$\beta_m = 20 [^\circ] \quad (4.4.4)$$

$$\alpha_t = 20 [^\circ] \quad (4.4.5)$$

$$b = 15,5 [\text{mm}] \quad (4.4.6)$$

$$\Sigma = 90^\circ \quad (4.4.7)$$

$$h_a^* = 1 [-] \quad (4.4.8)$$

$$c^* = 0,2 [-] \quad (4.4.9)$$

4.4.1 Geometrie soukolí

– kuželová vzdálenost vnější

$$\begin{aligned} L_e &= 0,5 * m_{te} * \sqrt{z_1^2 + z_2^2} = 0,5 * 3,5 * \sqrt{20^2 + 20^2} \\ &= 49,50 [\text{mm}] \end{aligned} \quad (4.4.10)$$

– kuželová vzdálenost střední

$$L_m = L_e - 0,5 * b = 49,50 - 0,5 * 15,5 = 41,75 [\text{mm}] \quad (4.4.11)$$

– moduly na středním průměru

$$m_{tm} = \frac{L_m}{L_e} * m_{te} = \frac{41,75}{49,5} * 3,5 = 2,95 [\text{mm}] \quad (4.4.12)$$

$$m_{nm} = m_{tm} * \cos(\beta_m) = 2,95 * \cos(20) = 2,77 [\text{mm}] \quad (4.4.13)$$

– úhly roztečných kuželů

$$\delta_1 = \arctg\left(\frac{\sin(\Sigma)}{i_{k12} + \cos(\Sigma)}\right) = \arctg\left(\frac{\sin(90)}{i_{k12} + \cos(90)}\right) = 45 [^\circ] \quad (4.4.14)$$

$$\delta_2 = \Sigma - \delta_1 = 90 - 45 = 45 [^\circ] \quad (4.4.15)$$

– **výška hlavy zubu**

$$h_{ae12} = h_a^* * m_{te} = 1 * 3,5 = 3,5 [mm] \quad (4.4.16)$$

$$h_{am12} = h_a^* * m_{nm} = 1 * 2,77 = 2,77 [mm] \quad (4.4.17)$$

– **výška paty zubu**

$$h_{fe12} = (h_a^* + c^*) * m_{te} = (1 + 0,2) * 3,5 = 4,2 [mm] \quad (4.4.18)$$

– **průměry vnějších roztečných kružnic**

$$d_{e1} = m_{te} * z_1 = 3,5 * 20 = 70 [mm] \quad (4.4.19)$$

$$d_{e2} = m_{te} * z_2 = 3,5 * 20 = 70 [mm] \quad (4.4.20)$$

– **průměry středních roztečných kružnic**

$$d_{m1} = d_{e1} - b * \sin(\delta_1) = 70 - 15,5 * \sin(45) = 59,04 [mm] \quad (4.4.21)$$

$$d_{m2} = d_{e1} - b * \sin(\delta_2) = 70 - 15,5 * \sin(45) = 59,04 [mm] \quad (4.4.22)$$

– **průměry hlavových kružnic**

$$d_{ae1} = d_{e1} + 2 * h_{ae12} * \cos(\delta_1) = 70 + 2 * 3,5 * \cos(45) = 74,95 [mm] \quad (4.4.23)$$

$$d_{ae2} = d_{e2} + 2 * h_{ae12} * \cos(\delta_2) = 70 + 2 * 3,5 * \cos(45) = 74,95 [mm] \quad (4.4.24)$$

– **průměry patních kružnic**

$$d_{fe1} = d_{e1} - 2 * h_{fe12} * \cos(\delta_1) = 70 - 2 * 4,2 * \cos(45) = 64,06 [mm] \quad (4.4.25)$$

$$d_{fe2} = d_{e2} - 2 * h_{fe12} * \cos(\delta_2) = 70 - 2 * 4,2 * \cos(45) = 64,06 [mm] \quad (4.4.26)$$

– **střední normálový úhel záběru**

$$\alpha_{nm} = \arctg(tg(\alpha_t) * \cos(\beta_m)) = \arctg(tg(20) * \cos(20)) = 18,88 [^\circ] \quad (4.4.27)$$

– **průměry roztečných kružnic virtuálních kol č. 1**

$$d'_{v1} = \frac{d_{m1}}{\cos(\delta_1)} = \frac{59,04}{\cos(45)} = 83,49 [mm] \quad (4.4.28)$$

$$d'_{v2} = \frac{d_{m1}}{\cos(\delta)} = \frac{59,04}{\cos(45)} = 83,49 [mm] \quad (4.4.29)$$

– **počet zubů virtuálních kol č. 1**

$$z'_{v1} = \frac{z_1}{\cos(\delta_1)} = \frac{20}{\cos(45)} = 28,28 [\text{zubů}] \quad (4.4.30)$$

$$z'_{v2} = \frac{z_2}{\cos(\delta_2)} = \frac{20}{\cos(45)} = 28,28 [\text{zubů}] \quad (4.4.31)$$

– **průměry hlavových kružnic virtuálních kol č. 1**

$$d'_{va1} = d'_{v1} + 2 * h_{am12} = 83,49 + 2 * 2,77 = 89,03 [mm] \quad (4.4.32)$$

$$d'_{va2} = d'_{v2} + 2 * h_{am12} = 83,49 + 2 * 2,77 = 89,03 [mm] \quad (4.4.33)$$

– **průměry základních kružnic virtuálních kol č. 1**

$$d'_{vb1} = d'_{v1} * \cos(\alpha_t) = 83,49 * \cos(20) = 78,45 [mm] \quad (4.4.34)$$

$$d'_{vb2} = d'_{v2} * \cos(\alpha_t) = 83,49 * \cos(20) = 78,45 [mm] \quad (4.4.35)$$

– **osová vzdálenost virtuálních kol č.1**

$$a'_v = \frac{d'_{v1} + d'_{v2}}{2} = \frac{83,49 + 83,49}{2} = 83,49 [mm] \quad (4.4.36)$$

– **průměry roztečných kružnic virtuálních kol č. 2**

$$d_{v1} = \frac{d'_{v1}}{\cos^2(\beta_m)} = \frac{83,49}{\cos^2(20)} = 94,55 [mm] \quad (4.4.37)$$

$$d_{v2} = \frac{d'_{v2}}{\cos^2 \beta_m} = \frac{83,49}{\cos^2(20)} = 94,55 [mm] \quad (4.4.38)$$

– **počet zubů virtuálních kol č. 2**

$$z_{v1} = \frac{z'_{v1}}{\cos^3 \beta_m} = \frac{28,28}{\cos^3(20)} = 34,08 \quad (4.4.39)$$

$$z_{v2} = \frac{z'_{v2}}{\cos^3 \beta_m} = \frac{28,28}{\cos^3(20)} = 34,08 \quad (4.4.40)$$

– **rozteče zubů**

$$p_{tmb} = \pi * m_{tm} * \cos(\alpha_t) = \pi * 2,95 * \cos(20) = 8,71 [mm] \quad (4.4.41)$$

$$p_{tm} = \pi * m_{tm} = \pi * 2,95 = 9,27 [mm] \quad (4.4.42)$$

– **součinitel trvání záběru**

$$\begin{aligned} \varepsilon_\alpha &= \frac{\sqrt{r'^2_{va1} - r'^2_{vb1}} + \sqrt{r'^2_{va2} - r'^2_{vb2}} - a'_v * \sin(\alpha_t)}{p_{tmb}} \\ &= \frac{\sqrt{44,515^2 - 39,225^2} + \sqrt{44,515^2 - 39,225^2} - 83,49 * \sin(20)}{8,71} \end{aligned} \quad (4.4.43)$$

$$\begin{aligned} &= 1,55 [-] \\ \varepsilon_\beta &= \frac{b * \tan(\beta_m)}{p_{tm}} = \frac{15,5 * \tan(20)}{9,27} = 0,61 [-] \end{aligned} \quad (4.4.44)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta = 1,55 + 0,61 = 2,16 [-] \quad (4.4.45)$$

4.4.2 Silové poměry

– obvodové síly

$$F_{t1} = F_{t2} = 2 * \frac{M_{k1}}{d_{m1} * 10^{-3}} = 2 * \frac{17,9}{59,04 * 10^{-3}} = 606,37 [N] \quad (4.4.46)$$

– radiální síly a axiální síly

$$F_{a1} = F_{r2} = \frac{F_{t1}}{\cos(\beta_m)} * (\operatorname{tg}(\alpha_{nm}) * \cos(\delta_1) + \sin(\beta_m) * \cos(\delta_1)) \quad (4.4.47)$$

$$= \frac{606,37}{\cos(20)} * (\operatorname{tg}(18,88) * \cos(45) + \sin(20) * \cos(45))$$

$$= 312,10 [N * m]$$

$$F_{a2} = F_{r1} = \frac{F_{t1}}{\cos(\beta_m)} * (\operatorname{tg}(\alpha_{nm}) * \cos(\delta_1) - \sin(\beta_m) * \cos(\delta_1)) \quad (4.4.48)$$

$$= \frac{606,37}{\cos(20)} * (\operatorname{tg}(18,88) * \cos(45) - \sin(20) * \cos(45))$$

$$= -0,02 \div 0 [N * m]$$

4.4.3 Pevnostní kontrola soukolí

– kontrola z hlediska únavy v dotyku

$$\sigma_H = \sigma_{HO} * \sqrt{k_H} \leq \sigma_{HP} \quad (4.4.49)$$

$$\sigma_{HO} = Z_E * Z_H * Z_{\varepsilon v} \sqrt{\frac{F_{t1}}{b * d'_{v1}} * \frac{i_{k12} + 1}{i_{k12}}} \quad (4.4.50)$$

Potřebné tabulkové hodnoty jsou voleny z literatury [8].

$$Z_E = 190 [\sqrt{MPa}] \quad (4.4.51)$$

$$Z_H = 2,37 [-] \quad (4.4.52)$$

$$Z_{\varepsilon v} = 0,86 [-] \quad (4.4.53)$$

$$K_A = 1,5 [-] \quad (4.4.54)$$

$$K_{H\beta} = 1,6 [-] \quad (4.4.55)$$

$$K_{H\alpha} * K_{HV} = 1,2 [-] \quad (4.4.56)$$

$$K_H = K_A * K_{H\beta} * K_{H\alpha} * K_{HV} = 1,5 * 1,6 * 1,2 = 2,88 [-] \quad (4.4.57)$$

$$Z_R = 1 [-] \quad (4.4.58)$$

$$\sigma_{Hlim}^{\circ} \sim \sigma_{Hlim1,2} = 1140 [MPa] \quad (4.4.59)$$

$$S_{Hmin} = 1,3 [-] \quad (4.4.60)$$

$$\sigma_{HO} = 190 * 2,37 * 0,86 * \sqrt{\frac{606,37}{15,5 * 83,49} * \frac{1 + 1}{1}} \quad (4.4.61)$$

$$= 374,89 [MPa]$$

$$\sigma_H = 374,89 * \sqrt{2,88} = 636,21 [MPa] \quad (4.4.62)$$

$$\sigma_{HP1,2} = \frac{\sigma_{Hlim1,2} * Z_R}{S_{Hmin}} = \frac{1140 * 1}{1,3} = 876,92 [MPa] \quad (4.4.63)$$

$$\sigma_H < \sigma_{HP1,2} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.4.64)$$

– kontrola na dotyk při jednorázové působení největšího zatížení

$$\sigma_{Hmax} = \sigma_{HO} * \sqrt{\frac{F_{t1} * K_{AS} * K_H}{F_{t1}}} \leq \sigma_{HPmax} \quad (4.4.65)$$

$$K_{AS} = 2 (> K_A - \text{volíme odhadem}) [-] \quad (4.4.66)$$

$$\sigma_{Hmax} = 374,89 * \sqrt{\frac{606,37 * 2 * 2,88}{606,37}} = 899,74 [MPa] \quad (4.4.67)$$

$$\sigma_{HPmax1,2} = 4 * V_{HV} = 4 * 600 = 2400 [MPa] \quad (4.4.68)$$

$$\sigma_{Hmax} < \sigma_{HPmax1,2} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.4.69)$$

– kontrola z hlediska únavy v ohybu

$$\sigma_F = \frac{F_{t1}}{b * m_{nm}} * K_F * Y_{FS} * Y_\beta * Y_{\varepsilon v} \leq \sigma_{FP} \quad (4.4.70)$$

Potřebné tabulkové hodnoty jsou voleny z literatury [8]

$$K_F = K_H = 2,88 [-] \quad (4.4.71)$$

$$Y_{FS1,2} = 3,82 [-] \quad (4.4.72)$$

$$Y_\beta = 0,9 [-] \quad (4.4.73)$$

$$Y_{\varepsilon v} = 0,2 + \frac{0,8}{\varepsilon_\alpha} = 0,2 + \frac{0,8}{1,55} = 0,72 \quad (4.4.74)$$

$$S_{Fmin} = 1,4 [-] \quad (4.4.75)$$

$$\sigma_{Flimb}^\circ \sim \sigma_{Flimb1,2} = 390 [MPa] \quad (4.4.76)$$

$$\sigma_{F1,2} = \frac{606,37}{15,5 * 2,77} * 2,88 * 3,82 * 0,9 * 0,72 = 100,68 [MPa] \quad (4.4.77)$$

$$\sigma_{FP1,2} = \frac{\sigma_{Flimb1,2}}{S_{Fmin}} = \frac{390}{1,4} = 278,87 [MPa] \quad (4.4.78)$$

$$\sigma_{F1,2} < \sigma_{FP1,2} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.4.79)$$

– kontrola na ohyb při jednorázovém působení největšího zatížení

$$\sigma_{Fmax} = \sigma_F * \frac{K_{AS} * F_{t1}}{F_{t1}} \leq \sigma_{FPmax} \quad (4.4.80)$$

$$\sigma_{Fmax1,2} = 100,68 * \frac{2 * 606,37}{606,37} = 201,36 [MPa] \quad (4.4.81)$$

$$\sigma_{FSt1,2} = 2,5 * \sigma_{Flimb1,2} = 2,5 * 390 = 975 [MPa] \quad (4.4.82)$$

$$\sigma_{FPmax1,2} = 0,8 * \sigma_{FSt1,2} = 0,8 * 975 = 780 [MPa] \quad (4.4.83)$$

$$\sigma_{Fmax1,2} < \sigma_{FPmax1,2} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.4.84)$$

4.5 Čelní ozubené soukolí 34 se šikmými zuby

Tab. 4.3 Materiálové konstanty čelního soukolí 34 se šikmými zuby.

	Hnací kolo (kolo1)	Hnané kolo (kolo2)
Materiál	12 051.4	12 051.4
R_m	640 [MPa]	640 [MPa]
R_e	390 [MPa]	390 [MPa]
σ_{Hlim}°	1140 [MPa]	1140 [MPa]
σ_{Flimb}°	390 [MPa]	390 [MPa]
V_{HV}	600 [MPa]	600 [MPa]

– volené parametry

$$z_3 = 24 [\text{zubů}] \quad (4.5.1)$$

$$z_4 = z_3 * i_{c34} = 24 * 1,78 = 43 [\text{zubů}] \quad (4.5.2)$$

$$m_n = 1,5 [\text{mm}] \quad (4.5.3)$$

$$\alpha_n = 20 [^\circ] \quad (4.5.4)$$

$$\beta = 15 [^\circ] \quad (4.5.5)$$

$$b = 26 [\text{mm}] \quad (4.5.6)$$

$$c^* = 0,25 [\text{mm}] \quad (4.5.7)$$

4.5.1 Geometrie soukolí

– čelní modul

$$m_t = \frac{m_n}{\cos(\beta)} = \frac{1,5}{\cos(20)} = 1,55 [\text{mm}] \quad (4.5.8)$$

– průměry roztečných kružnic

$$d_3 = z_3 * \frac{m_n}{\cos(\beta)} = 24 * \frac{1,5}{\cos(20)} = 37,27 [\text{mm}] \quad (4.5.9)$$

$$d_4 = z_4 * \frac{m_n}{\cos(\beta)} = 43 * \frac{1,5}{\cos(20)} = 66,78 [\text{mm}] \quad (4.5.10)$$

– průměry hlavových kružnic

$$d_{a3} = d_3 + 2 * m_n = 37,27 + 2 * 1,5 = 40,27 [\text{mm}] \quad (4.5.11)$$

$$d_{a4} = d_4 + 2 * m_n = 66,78 + 2 * 1,5 = 69,78 [\text{mm}] \quad (4.5.12)$$

– průměry patních kružnic

$$\begin{aligned} d_{f3} &= d_3 - 2 * m_n * (1 + c^*) = 37,27 - 2 * 1,5 * (1 + 0,25) \\ &= 33,52 [\text{mm}] \end{aligned} \quad (4.5.13)$$

$$d_{f4} = d_4 - 2 * m_n * (1 + c^*) = 66,78 - 2 * 1,5 * (1 + 0,25) = 63,03 [mm] \quad (4.5.14)$$

– **čelní úhel záběru**

$$\alpha_t = \arctg\left(\frac{tg(\alpha_n)}{\cos(\beta)}\right) = \arctg\left(\frac{tg(20)}{\cos(15)}\right) = 20,65 [^\circ] \quad (4.5.15)$$

– **průměry základních kružnic**

$$d_{b3} = d_3 * \cos(\alpha_t) = 37,27 * \cos(20,65) = 34,87 [mm] \quad (4.5.16)$$

$$d_{b4} = d_4 * \cos(\alpha_t) = 66,78 * \cos(20,65) = 62,49 [mm] \quad (4.5.17)$$

– **čelní rozteč**

$$p_t = \pi * m_t = \pi * 1,55 = 4,87 [mm] \quad (4.5.18)$$

– **základní rozteč**

$$p_{tb} = p_t * \cos(\alpha_t) = 4,87 * \cos(20) = 4,58 [mm] \quad (4.5.19)$$

– **počet zubů virtuálních kol**

$$z_{v3} = \frac{z_3}{\cos^3(\beta)} = \frac{24}{\cos^3(15)} = 26,6 [zubů] \quad (4.5.20)$$

$$z_{v4} = \frac{z_4}{\cos^3(\beta)} = \frac{43}{\cos^3(15)} = 47,71 [zubů] \quad (4.5.21)$$

– **osová vzdálenost**

$$a = \frac{d_3 + d_4}{2} = \frac{37,27 + 66,78}{2} = 52,025 [mm] \quad (4.5.22)$$

– **součinitel trvání záběru**

$$\begin{aligned} \varepsilon_\alpha &= \frac{\sqrt{r_{a3}^2 - r_{b3}^2} + \sqrt{r_{a4}^2 - r_{b4}^2} - a * \sin(\alpha_t)}{p_{tb}} \\ &= \frac{\sqrt{20,135^2 - 17,435^2} + \sqrt{34,890^2 - 31,245^2} - 52,025 * \sin(20,65)}{4,58} \end{aligned} \quad (4.5.23)$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{b * tg(\beta)}{p_t} = \frac{26 * tg(15)}{4,87} = 1,43 [-] \quad (4.5.24)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta = 1,58 + 1,43 = 3,01 [-] \quad (4.5.25)$$

4.5.2 Silové poměry

– **obvodové síly**

$$F_{t3} = F_{t4} = \frac{2 * M_{k2}}{d_3 * 10^{-3}} = \frac{2 * 17,9}{37,27 * 10^{-3}} = 960,56 [N] \quad (4.5.26)$$

– radiální síly

$$F_{r3} = F_{r4} = \frac{F_{t3}}{\cos(\beta)} * tg(\alpha_n) = \frac{960,56}{\cos(15)} * tg(20) = 361,95 [N] \quad (4.5.27)$$

– axiální síly

$$F_{a3} = F_{a4} = F_{t3} * tg(\beta) = 960,56 * tg(15) = 257,38 [N] \quad (4.5.28)$$

4.5.3 Pevnostní kontrola

– kontrola z hlediska únavy v dotyku

$$\sigma_H = \sigma_{HO} * \sqrt{k_H} \leq \sigma_{HP} \quad (4.5.29)$$

$$\sigma_{HO} = Z_E * Z_H * Z_\varepsilon \sqrt{\frac{F_{t3}}{b * d_3} * \frac{i_{c34} + 1}{i_{c34}}} \quad (4.5.30)$$

Potřebné tabulkové hodnoty jsou voleny z literatury [8].

$$Z_E = 190 [\sqrt{MPa}] \quad (4.5.31)$$

$$Z_H = 2,43 [-] \quad (4.5.32)$$

$$Z_\varepsilon = 0,79 [-] \quad (4.5.33)$$

$$K_A = 1,5 [-] \quad (4.5.34)$$

$$K_{H\beta} = 1,3 [-] \quad (4.5.35)$$

$$K_{H\alpha} * K_{HV} = 1,2 [-] \quad (4.5.36)$$

$$K_H = K_A * K_{H\beta} * K_{H\alpha} * K_{HV} = 1,5 * 1,3 * 1,2 = 2,34 [-] \quad (4.5.37)$$

$$Z_R = 1 [-] \quad (4.5.38)$$

$$\sigma_{Hlim}^{\circ} \sim \sigma_{Hlim3,4} = 1140 [MPa] \quad (4.5.39)$$

$$S_{Hmin} = 1,3 [-] \quad (4.5.40)$$

$$\sigma_{HO} = 190 * 2,43 * 0,79 \sqrt{\frac{960,56}{26 * 37,27} * \frac{1,78 + 1}{1,78}} = 453,89 [MPa] \quad (4.5.41)$$

$$\sigma_H = 453,89 * \sqrt{2,34} = 694,32 [MPa] \quad (4.5.42)$$

$$\sigma_{HP3,4} = \frac{\sigma_{Hlim3,4} * Z_R}{S_{Hmin}} = \frac{1140 * 1}{1,3} = 876,92 [MPa] \quad (4.5.43)$$

$$\sigma_H < \sigma_{HP3,4} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.5.44)$$

– kontrola na dotyk při jednorázové působení největšího zatížení

$$\sigma_{Hmax} = \sigma_{HO} * \sqrt{\frac{F_{t3} * K_{AS} * K_H}{F_{t3}}} \leq \sigma_{HPmax} \quad (4.5.45)$$

$$K_{AS} = 2 (> K_A - \text{volíme odhadem}) [-] \quad (4.5.46)$$

$$\sigma_{Hmax} = 453,89 * \sqrt{\frac{960,56 * 2 * 2,34}{960,56}} = 981,91 [MPa] \quad (4.5.47)$$

$$\sigma_{HPmax3,4} = 4 * V_{HV} = 4 * 600 = 2400 [MPa] \quad (4.5.48)$$

$$\sigma_{Hmax} < \sigma_{HPmax3,4} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.5.49)$$

– kontrola z hlediska únavy v ohybu

$$\sigma_F = \frac{F_{t3}}{b * m_n} * K_F * Y_{FS} * Y_\beta * Y_\varepsilon \leq \sigma_{FP} \quad (4.5.50)$$

Potřebné tabulkové hodnoty jsou voleny z literatury [8].

$$K_F = K_H = 2,34 [-] \quad (4.5.51)$$

$$Y_{FS3} = 3,95 [-] \quad (4.5.52)$$

$$Y_{FS4} = 3,75 [-] \quad (4.5.53)$$

$$Y_\beta = 0,87 [-] \quad (4.5.54)$$

$$Y_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_\alpha} = \frac{1}{1,60} = 0,63 [-] \quad (4.5.55)$$

$$S_{Fmin} = 1,4 [-] \quad (4.5.56)$$

$$\sigma_{Flimb}^\circ \sim \sigma_{Flimb3,4} = 390 [MPa] \quad (4.5.57)$$

$$\sigma_{F3} = \frac{960,56}{26 * 1,5} * 2,34 * 3,95 * 0,87 * 0,63 = 124,78 [MPa] \quad (4.5.58)$$

$$\sigma_{F4} = \frac{960,56}{26 * 1,5} * 2,34 * 3,75 * 0,87 * 0,63 = 118,46 [MPa] \quad (4.5.59)$$

$$\sigma_{FP3} = \frac{\sigma_{Flimb3,4}}{S_{Fmin}} = \frac{390}{1,4} = 278,87 [MPa] \quad (4.5.60)$$

$$\sigma_{FP4} = \frac{\sigma_{Flimb3,4}}{S_{Fmin}} = \frac{390}{1,4} = 278,87 [MPa] \quad (4.5.61)$$

$$\sigma_{F3} < \sigma_{FP3} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.5.62)$$

$$\sigma_{F4} < \sigma_{FP4} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.5.63)$$

– kontrola na ohyb při jednorázovém působení největšího zatížení

$$\sigma_{Fmax} = \sigma_F * \frac{K_{AS} * F_{t3}}{F_{t3}} \leq \sigma_{FPmax} \quad (4.5.64)$$

$$\sigma_{Fmax3} = 124,78 * \frac{2 * 960,56}{960,56} = 249,56 [MPa] \quad (4.5.65)$$

$$\sigma_{Fmax4} = 118,46 * \frac{2 * 960,56}{960,56} = 236,92 [MPa] \quad (4.5.66)$$

$$\sigma_{FSt3,4} = 2,5 * \sigma_{Flimb3,4} = 2,5 * 390 = 975 [MPa] \quad (4.5.67)$$

$$\sigma_{FPmax3} = 0,8 * \sigma_{FSt3,4} = 0,8 * 975 = 780 [MPa] \quad (4.5.68)$$

$$\sigma_{FPmax4} = 0,8 * \sigma_{FSt3,4} = 0,8 * 975 = 780 [MPa] \quad (4.5.69)$$

$$\sigma_{Fmax3} < \sigma_{FPmax3} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.5.70)$$

$$\sigma_{Fmax4} < \sigma_{FPmax4} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.5.71)$$

4.6 Čelní ozubené soukolí 56 se šikmými zuby

Tab. 4.4 Materiálové konstanty čelního soukolí 56 se šikmými zuby.

	Hnací kolo (kolo1)	Hnané kolo (kolo2)
Materiál	12 051.4	12 051.4
R_m	640 [MPa]	640 [MPa]
R_e	390 [MPa]	390 [MPa]
σ°_{Hlim}	1140 [MPa]	1140 [MPa]
σ°_{Flimb}	390 [MPa]	390 [MPa]
V_{HV}	600 [MPa]	600 [MPa]

– volené parametry

$$z_5 = 27 [\text{zubů}] \quad (4.6.1)$$

$$z_6 = z_3 * i_{c34} = 27 * 1,33 = 36 [\text{zubů}] \quad (4.6.2)$$

$$m_n = 1,5 [\text{mm}] \quad (4.6.3)$$

$$\alpha_n = 20 [^{\circ}] \quad (4.6.4)$$

$$\beta = 19 [^{\circ}] \quad (4.6.5)$$

$$b = 26 [\text{mm}] \quad (4.6.6)$$

$$c^* = 0,25 [\text{mm}] \quad (4.6.7)$$

$$h_a^* = 1 [\text{mm}] \quad (4.6.8)$$

$$a_w = 52,025 [\text{mm}] \quad (4.6.9)$$

4.6.1 Geometrie soukolí

– čelní modul

$$m_t = \frac{m_n}{\cos(\beta)} = \frac{1,5}{\cos(19)} = 1,59 [\text{mm}] \quad (4.6.10)$$

– průměry roztečných kružnic

$$d_5 = z_5 * \frac{m_n}{\cos(\beta)} = 27 * \frac{1,5}{\cos(19)} = 42,83 [\text{mm}] \quad (4.6.11)$$

$$d_6 = z_6 * \frac{m_n}{\cos(\beta)} = 36 * \frac{1,5}{\cos(19)} = 57,11 [\text{mm}] \quad (4.6.12)$$

– teoretická osová vzdálenost

$$a = \frac{d_5 + d_6}{2} = \frac{42,83 + 57,11}{2} = 49,97 [\text{mm}] \quad (4.6.13)$$

– čelní úhel záběru

$$\alpha_t = \arctg\left(\frac{tg(\alpha_n)}{\cos(\beta)}\right) = \arctg\left(\frac{tg(20)}{\cos(19)}\right) = 21,05 [^\circ] \quad (4.6.14)$$

4.6.2 Korekce soukolí

– provozní úhel záběru

$$\begin{aligned} \alpha_{vt} &= \arccos\left(\frac{m_n}{2 * \cos(\beta)} * (z_5 + z_6) * \frac{\cos(\alpha_t)}{a_w}\right) \\ &= \arccos\left(\frac{1,5}{2 * \cos(19)} * (27 + 36) * \frac{\cos(21,05)}{52,025}\right) = 26,30 [^\circ] \end{aligned} \quad (4.6.15)$$

– součet jednotkových posunutí

$$\begin{aligned} x_5 + x_6 &= \frac{\left(tg(\alpha_{vt}) - \frac{\alpha_{vt} * \pi}{180}\right) - \left(tg(\alpha_t) - \frac{\alpha_t * \pi}{180}\right)}{2 * tg(\alpha_n)} * (z_5 + z_6) \\ &= \frac{\left(tg(26,30) - \frac{26,30 * \pi}{180}\right) - \left(tg(21,05) - \frac{21,05 * \pi}{180}\right)}{2 * tg(20)} * (27 + 36) \\ &= 1,53 [mm] \end{aligned} \quad (4.6.16)$$

– rozdělení součtu jednotkových posunutí

$$\frac{x_5}{x_6} = \frac{z_6}{z_5} \Rightarrow x_5 = \frac{i_{c56} * (x_5 + x_6)}{i_{c56} + 1} = \frac{1,33 * 1,53}{1,33 + 1} = 0,87 [mm] \quad (4.6.17)$$

$$x_6 = (x_5 + x_6) - x_5 = 1,53 - 0,87 = 0,66 [mm] \quad (4.6.18)$$

– součinitel přisunutí

$$\begin{aligned} \Delta y &= (x_5 + x_6) - \frac{(a_w - a)}{m_n} = 1,53 - \frac{(52,025 - 49,97)}{1,5} \\ &= 0,16 [mm] \end{aligned} \quad (4.6.19)$$

– průměry hlavových kružnic

$$\begin{aligned} d_{a5} &= d_5 + 2 * m_n * (h_a^* + x_5 - \Delta y) \\ &= 42,83 + 2 * 1,5 * (1 + 0,87 - 0,16) = 47,96 [mm] \end{aligned} \quad (4.6.20)$$

$$\begin{aligned} d_{a6} &= d_6 + 2 * m_n * (h_a^* + x_6 - \Delta y) \\ &= 57,11 + 2 * 1,5 * (1 + 0,66 - 0,16) = 61,61 [mm] \end{aligned} \quad (4.6.21)$$

– průměry patních kružnic

$$\begin{aligned} d_{f5} &= d_5 - 2 * m_n * (h_a^* + c^* - x_5) \\ &= 42,83 - 2 * 1,5 * (1 + 0,25 - 0,87) = 41,69 [mm] \end{aligned} \quad (4.6.22)$$

$$\begin{aligned} d_{f6} &= d_6 - 2 * m_n * (h_a^* + c^* - x_6) \\ &= 57,11 - 2 * 1,5 * (1 + 0,25 - 0,66) = 55,34 [mm] \end{aligned} \quad (4.6.23)$$

– **průměry základních kružnic**

$$d_{b5} = d_5 * \cos(\alpha_t) = 42,83 * \cos(21,05) = 39,97 [mm] \quad (4.6.24)$$

$$d_{b6} = d_6 * \cos(\alpha_t) = 57,11 * \cos(21,05) = 53,30 [mm] \quad (4.6.25)$$

– **čelní rozteč**

$$p_t = \pi * m_t = \pi * 1,59 = 5,00 [mm] \quad (4.6.26)$$

– **základní rozteč**

$$p_{tb} = p_t * \cos(\alpha_t) = 5,00 * \cos(21,05) = 4,67 [mm] \quad (4.6.27)$$

– **počet zubů virtuálních kol**

$$z_{v5} = \frac{z_5}{\cos^3(\beta)} = \frac{27}{\cos^3(19)} = 31,94 [\text{zubů}] \quad (4.6.28)$$

$$z_{v6} = \frac{z_6}{\cos^3(\beta)} = \frac{36}{\cos^3(19)} = 42,59 [\text{zubů}] \quad (4.6.29)$$

– **součinitel trvání záběru**

$$\begin{aligned} \varepsilon_\alpha &= \frac{\sqrt{r_{a5}^2 - r_{b5}^2} + \sqrt{r_{a6}^2 - r_{b6}^2} - a_w * \sin(\alpha_{vt})}{p_{tb}} \\ &= \frac{\sqrt{23,980^2 - 19,985^2} + \sqrt{30,805^2 - 26,650^2} - 52,025 * \sin(26,30)}{4,67} \end{aligned} \quad (4.6.30)$$

$$= 1,21 [-]$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{b * \operatorname{tg}(\beta)}{p_t} = \frac{26 * \operatorname{tg}(19)}{5} = 1,79 [-] \quad (4.6.31)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta = 1,21 + 1,79 = 3,00 [-] \quad (4.6.32)$$

4.6.3 Silové poměry

– **obvodové síly**

$$F_{t5} = F_{t6} = \frac{2 * M_{k2}}{d_5 * 10^{-3}} = \frac{2 * 17,9}{42,83 * 10^{-3}} = 835,86 [N] \quad (4.6.33)$$

– **radiální síly**

$$F_{r5} = F_{r6} = \frac{F_{t5}}{\cos(\beta)} * \operatorname{tg}(\alpha_n) = \frac{835,86}{\cos(19)} * \operatorname{tg}(20) = 321,76 [N] \quad (4.6.34)$$

– **axiální síly**

$$F_{a5} = F_{a6} = F_{t5} * \operatorname{tg}(\beta) = 835,86 * \operatorname{tg}(19) = 287,81 [N] \quad (4.6.35)$$

4.6.4 Pevnostní kontrola

– kontrola z hlediska únavy v dotyku

$$\sigma_H = \sigma_{HO} * \sqrt{k_H} \leq \sigma_{HP} \quad (4.6.36)$$

$$\sigma_{HO} = Z_E * Z_H * Z_\varepsilon \sqrt{\frac{F_{t5}}{b * d_5} * \frac{i_{c56} + 1}{i_{c56}}} \quad (4.6.37)$$

Potřebné tabulkové hodnoty jsou voleny z literatury [8].

$$Z_E = 190 [\sqrt{MPa}] \quad (4.6.38)$$

$$Z_H = 2,1 [-] \quad (4.6.39)$$

$$Z_\varepsilon = 0,92 [-] \quad (4.6.40)$$

$$K_A = 1,5 [-] \quad (4.6.41)$$

$$K_{H\beta} = 1,3 [-] \quad (4.6.42)$$

$$K_{H\alpha} * K_{HV} = 1,2 [-] \quad (4.6.43)$$

$$K_H = K_A * K_{H\beta} * K_{H\alpha} * K_{HV} = 1,5 * 1,3 * 1,2 = 2,34 [-] \quad (4.6.44)$$

$$Z_R = 1 [-] \quad (4.6.45)$$

$$\sigma_{Hlim}^{\circ} \sim \sigma_{Hlim56} = 1140 [MPa] \quad (4.6.46)$$

$$S_{Hmin} = 1,3 [-] \quad (4.6.47)$$

$$\sigma_{HO} = 190 * 2,1 * 0,92 \sqrt{\frac{835,86}{26 * 42,83} * \frac{1,33 + 1}{1,33}} = 420,94 [MPa] \quad (4.6.48)$$

$$\sigma_H = 420,94 * \sqrt{2,34} = 643,91 [MPa] \quad (4.6.49)$$

$$\sigma_{HP5,6} = \frac{\sigma_{Hlim5,6} * Z_R}{S_{Hmin}} = \frac{1140 * 1}{1,3} = 876,92 [MPa] \quad (4.6.50)$$

$$\sigma_H < \sigma_{HP5,6} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.6.51)$$

– kontrola na dotyk při jednorázové působení největšího zatížení

$$\sigma_{Hmax} = \sigma_{HO} * \sqrt{\frac{F_{t5} * K_{AS} * K_H}{F_{t5}}} \leq \sigma_{HPmax} \quad (4.6.52)$$

$$K_{AS} = 2 (> K_A - \text{volíme odhadem}) [-] \quad (4.6.53)$$

$$\sigma_{Hmax} = 420,94 * \sqrt{\frac{835,86 * 2 * 2,34}{835,86}} = 910,63 [MPa] \quad (4.6.54)$$

$$\sigma_{HPmax5,6} = 4 * V_{HV} = 4 * 600 = 2400 [MPa] \quad (4.6.55)$$

$$\sigma_{Hmax} < \sigma_{HPmax5,6} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.6.56)$$

– kontrola z hlediska únavy v ohybu

$$\sigma_F = \frac{F_{t5}}{b * m_n} * K_F * Y_{FS} * Y_\beta * Y_\varepsilon \leq \sigma_{FP} \quad (4.6.57)$$

Potřebné tabulkové hodnoty jsou voleny z literatury [8]

$$K_F = K_H = 2,34 [-] \quad (4.6.58)$$

$$Y_{FS5} = 3,28 [-] \quad (4.6.59)$$

$$Y_{FS6} = 3,48 [-] \quad (4.6.60)$$

$$Y_{\beta} = 0,83 [-] \quad (4.6.61)$$

$$Y_{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon_{\alpha}} = \frac{1}{1,21} = 0,83 [-] \quad (4.6.62)$$

$$S_{Fmin} = 1,4 [-] \quad (4.6.63)$$

$$\sigma^{\circ}_{Flimb} \sim \sigma_{Flimb56} = 390 [MPa] \quad (4.6.64)$$

$$\sigma_{F5} = \frac{835,86}{26 * 1,5} * 2,34 * 3,28 * 0,83 * 0,83 = 113,32 [MPa] \quad (4.6.65)$$

$$\sigma_{F6} = \frac{835,86}{26 * 1,5} * 2,34 * 3,48 * 0,83 * 0,83 = 120,23 [MPa] \quad (4.6.66)$$

$$\sigma_{FP5} = \frac{\sigma_{Flimb5,6}}{S_{Fmin}} = \frac{390}{1,4} = 278,87 [MPa] \quad (4.6.67)$$

$$\sigma_{FP6} = \frac{\sigma_{Flimb5,6}}{S_{Fmin}} = \frac{390}{1,4} = 278,87 [MPa] \quad (4.6.68)$$

$$\sigma_{F5} < \sigma_{FP5} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.6.69)$$

$$\sigma_{F6} < \sigma_{FP6} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.6.70)$$

– kontrola na ohyb při jednorázovém působení největšího zatížení

$$\sigma_{Fmax} = \sigma_F * \frac{K_{AS} * F_{t5}}{F_{t5}} \leq \sigma_{FPmax} \quad (4.6.71)$$

$$\sigma_{Fmax5} = 113,32 * \frac{2 * 835,86}{835,86} = 113,32 [MPa] \quad (4.6.72)$$

$$\sigma_{Fmax6} = 120,23 * \frac{2 * 835,86}{835,86} = 240,46 [MPa] \quad (4.6.73)$$

$$\sigma_{FSt5,6} = 2,5 * \sigma_{Flimb5,6} = 2,5 * 390 = 975 [MPa] \quad (4.6.74)$$

$$\sigma_{FPmax5} = 0,8 * \sigma_{FSt5,6} = 0,8 * 975 = 780 [MPa] \quad (4.6.75)$$

$$\sigma_{FPmax6} = 0,8 * \sigma_{FSt5,6} = 0,8 * 975 = 780 [MPa] \quad (4.6.76)$$

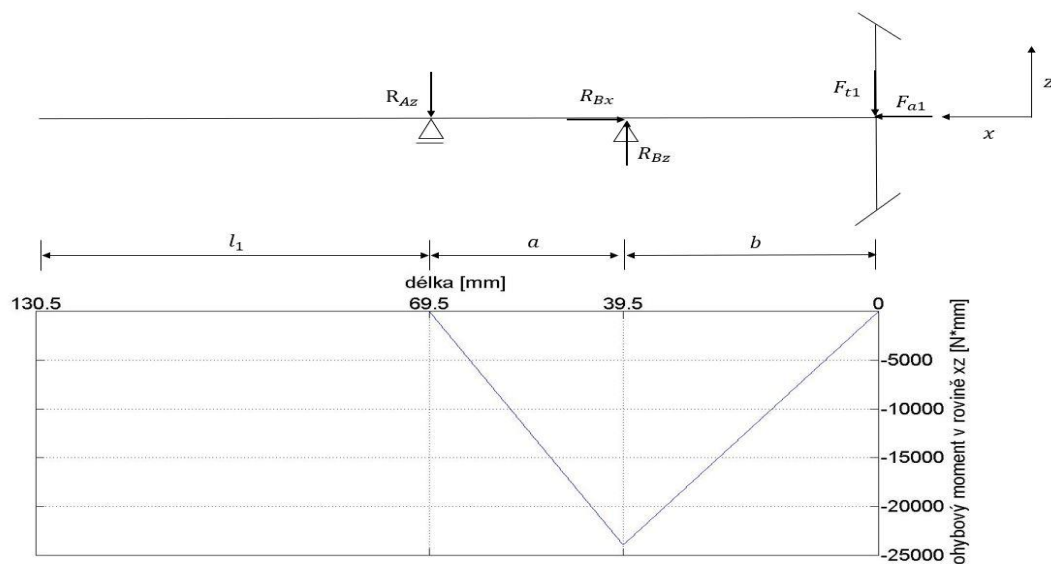
$$\sigma_{Fmax5} < \sigma_{FPmax5} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.6.77)$$

$$\sigma_{Fmax6} < \sigma_{FPmax6} \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (4.6.78)$$

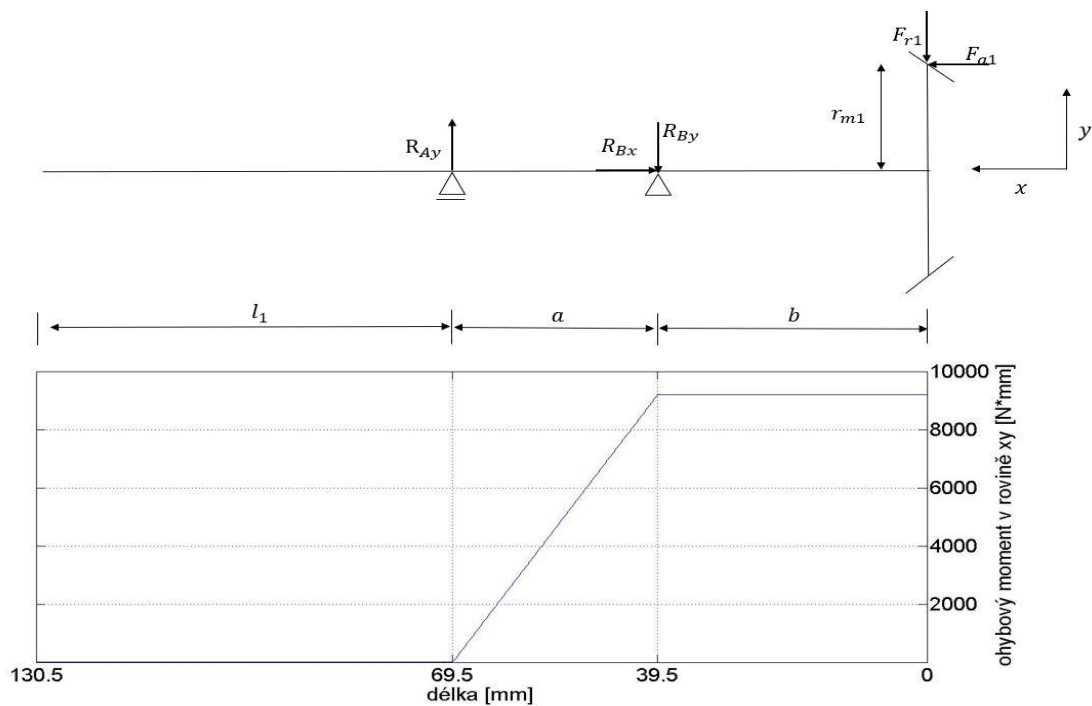
4.7 Výpočet hřídelů

4.7.1 Vstupní hřídel

- výpočet ohybových momentů



Obr. 4.2 Schéma vstupní hřídele s grafem ohybového momentu v rovině xz.



Obr. 4.3 Schéma vstupní hřídele s grafem ohybového momentu v rovině xy.

$$l_1 = 61[mm], a = 30[mm], b = 39,5 [mm], r_{m1} = \frac{1}{2} d_{m1} = 29,52 [mm]$$

$$F_{a1} = 312,10 [N], F_{t1} = 606,37 [N], F_{r1} = 0 [N]$$

rovnice rovnováhy

$$x: -R_{Bx} + F_{a1} = 0 \quad (4.7.1)$$

$$y: R_{Ay} - R_{By} - F_{r1} = 0 \quad (4.7.2)$$

$$z: -R_{Az} + R_{Bz} - F_{t1} = 0 \quad (4.7.3)$$

$$xz_B: R_{Az} * a - F_{t1} * b = 0 \quad (4.7.4)$$

$$xy_B: -R_{Ay} * a - F_{r1} * b + F_{a1} * r_{m1} = 0 \quad (4.7.5)$$

Ze soustavy rovnic vypočteme reakce.

$$R_{By} = 307,11 [N], R_{Bz} = 1404,76 [N], R_{Bx} = 312,10 [N], R_{Ay} = 307,11 [N],$$

$$R_{Az} = 798,39[N]$$

vnitřní statické účinky

I. řez $x \in < 0; b >$

$$xz: M_{o1} = -F_{t1} * x \quad (4.7.6)$$

$$xy: M_{o1} = F_{a1} * r_{m1} - F_{r1} * x \quad (4.7.7)$$

II. řez $x \in < b; b + a >$

$$xz: M_{o2} = R_{Bz} * (x - b) - F_{t1} * x \quad (4.7.8)$$

$$xy: M_{o2} = -R_{By} * (x - b) - F_{r1} * x + F_{a1} * r_{m1} \quad (4.7.9)$$

III. řez $x \in < b + a; b + a + l_1 >$

$$xz: M_{o3} = -R_{Az} * (x - b - a) + R_{Bz} * (x - b) - F_{t1} * x \quad (4.7.10)$$

$$xy: M_{o3} = R_{Ay} * (x - b - a) - R_{By} * (x - b) - F_{r1} * x + F_{a1} * r_{m1} \quad (4.7.11)$$

maximální ohybový moment

$$M_{omaxxz} = -F_{t1} * b = -606,37 * 39,5 = -23951,62 [N * mm] \\ = -23,95 [N * m] \quad (4.7.12)$$

$$M_{omaxxy} = -F_{a1} * r_{m1} - F_{r1} * 0 = 312,10 * 29,52 - 0 * 0 \\ = 9213,19 [N * mm] = 9,21 [N * m] \quad (4.7.13)$$

$$M_{omax} = \sqrt{M_{omaxxz}^2 + M_{omaxxy}^2} = \sqrt{(-23,95)^2 + 9,21^2} \\ = 25,66 [N * m] \quad (4.7.14)$$

4.7.2 Návrh vstupní hřídele

Tab. 4.5 Materiálové konstanty vstupní hřídele.

Materiál	11343.0
σ_{Do} (pro střídavé namáhání)	75 [MPa]
τ_{Dk} (pro statické namáhání)	67,5 [MPa]
R_m	365 [MPa]
R_e	195 [MPa]

- návrh průměru hřídele vzhledem k největšímu ohybovému momentu

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (4.7.15)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{omax}}{\pi * \sigma_{Do}}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 25,66}{\pi * 75 * 10^6}} = 0,015 [m] = 15 [mm] \quad (4.7.16)$$

- návrh průměru hřídele s ohledem na krouticí moment

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \leq \tau_{Dk} \quad (4.7.17)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * M_{k1}}{\pi * \tau_{Dk}}} = \sqrt[3]{\frac{16 * 17,9}{\pi * 67,5 * 10^6}} = 0,011 [m] = 11 [mm] \quad (4.7.18)$$

- kontrola na střídavý ohyb

Kontrolu provedeme v místě osazení za kuželovým kolem se šikmými zuby. Tento bod se nachází ve vzdálenosti 23,5 [mm] od počátku souřadného systému.

$$d = 15 [mm], r_{vrub} = 0,5 [mm]$$

výpočet ohybového momentu v daném místě

$$M_{oxz(vrub)} = -F_{t1} * 23,5 = -606,37 * 23,5 = -14249,70 [N * mm] \quad (4.7.19)$$

$$M_{oxy(vrub)} = F_{a1} * r_{m1} - F_{r1} * 23,5 = 312,10 * 29,52 - 0 * 23,5 = 9213,19 [N * mm] \quad (4.7.20)$$

$$M_o(vrub) = \sqrt{M_{oxz(vrub)}^2 + M_{oxy(vrub)}^2} = \sqrt{(-14249,70)^2 + 9213,19^2} = 16968,70 [N * mm] \quad (4.7.21)$$

výpočet napětí

$$\sigma_o = \frac{M_o(vrub)}{W_o} = \frac{32 * M_o(vrub)}{\pi * d^3} = \frac{32 * 16968,70}{\pi * 15^3} = 51,21 [MPa] \quad (4.7.22)$$

Potřebné tabulkové hodnoty jsou voleny z literatury [9]

$$\sigma_{Co} = 0,43 * R_m = 0,43 * 365 = 156,95 \text{ [MPa]} \quad (4.7.23)$$

$$q_1 = 0,35 \text{ [-]} \quad (4.7.24)$$

$$q_2 = 0,35 \text{ [-]} \quad (4.7.25)$$

$$q = 0,5 * (q_1 + q_2) = 0,5 * (0,35 + 0,35) = 0,35 \text{ [-]} \quad (4.7.26)$$

$$\alpha = 2,18 \text{ [-]} \quad (4.7.27)$$

$$\beta = 1 + q * (\alpha - 1) = 1 + 0,35 * (2,18 - 1) = 1,413 \text{ [-]} \quad (4.7.28)$$

$$\eta = 0,93 \text{ [-]} \quad (4.7.29)$$

$$d_0 = 10 \text{ [mm]} \quad (4.7.30)$$

$$v = v_r = 1 - \sqrt{0,02 * \log\left(\frac{d}{d_0}\right)} = 1 - \sqrt{0,02 * \log\left(\frac{15}{10}\right)} = 0,94 \text{ [-]} \quad (4.7.31)$$

$$\sigma_{Co}^* = \frac{\sigma_{Co} * v * \eta}{\beta} = \frac{156,95 * 0,94 * 0,93}{1,413} = 97,10 \text{ [MPa]} \quad (4.7.32)$$

bezpečnost v ohybu

$$k_o = \frac{\sigma_{Co}^*}{\sigma_o} = \frac{97,10}{51,21} = 1,90 \text{ [-]} \quad (4.7.33)$$

– **kontrola na statický krut**

výpočet napětí

$$\tau_k = \frac{M_{k1}}{W_k} = \frac{16 * M_{k1}}{\pi * d^3} = \frac{16 * 17,9 * 10^3}{\pi * 15^3} = 27,01 \text{ [MPa]} \quad (4.7.34)$$

$$\tau_{kk} = \frac{R_e}{\sqrt{3}} = \frac{195}{\sqrt{3}} = 112,58 \text{ [MPa]} \quad (4.7.35)$$

bezpečnost v krutu

$$k_k = \frac{\tau_{kk}}{\tau_k} = \frac{112,58}{27,01} = 4,17 \text{ [-]} \quad (4.7.36)$$

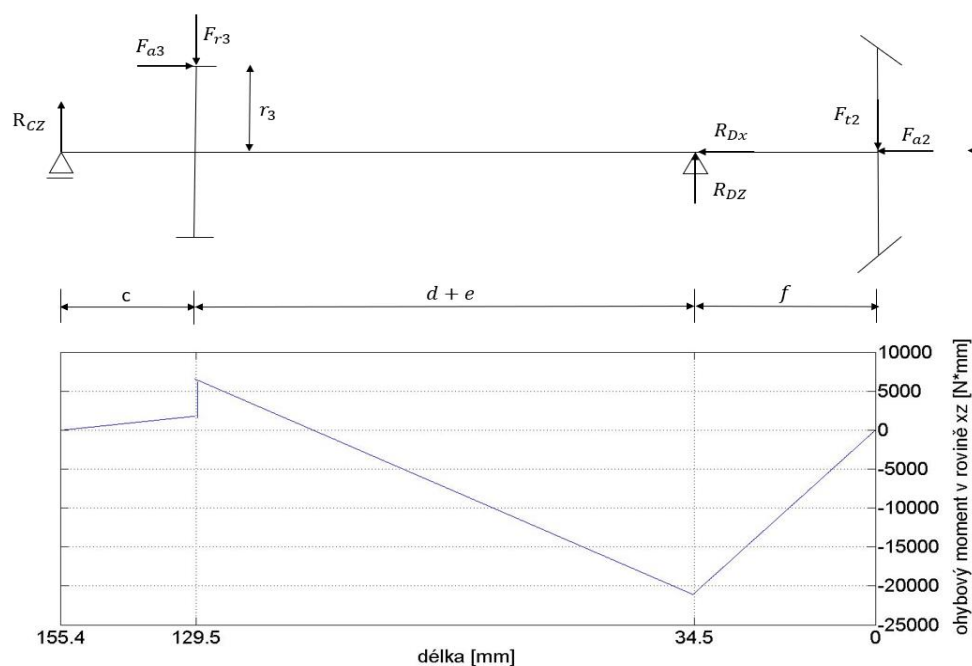
– **celková bezpečnost**

$$k = \sqrt{\frac{k_o^2 * k_k^2}{k_o^2 + k_k^2}} = \sqrt{\frac{1,90^2 * 4,17^2}{1,90^2 + 4,17^2}} = 1,73 \text{ [-]} \quad (4.7.37)$$

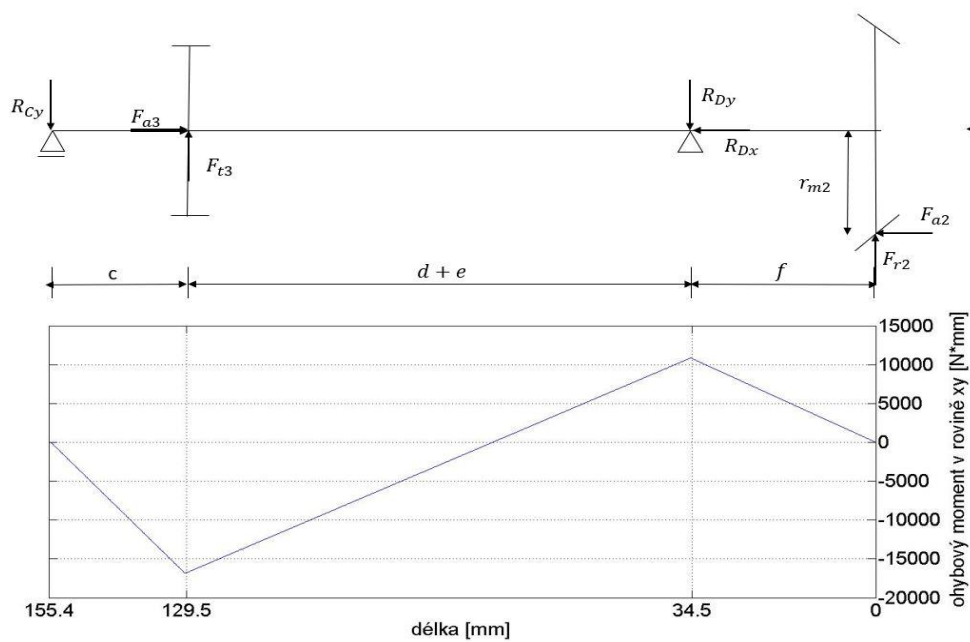
4.7.3 Předloková hřídel

První stupeň převodového ústrojí

– výpočet ohybových momentů



Obr. 4.4 Schéma předlokové hřídele (1. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xz.



Obr. 4.5 Schéma předlokové hřídele (1. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xy.

$$c = 25,9 \text{ [mm]}, d = 65 \text{ [mm]}, e = 30 \text{ [mm]}, f = 34,5 \text{ [mm]}, r_{m2} = \frac{1}{2} * d_{m2}$$

$$= 29,52 \text{ [mm]}, r_3 = \frac{1}{2} * d_3 = 18,635 \text{ [mm]}$$

$$F_{t2} = 606,37 \text{ [N]}, F_{a2} = 0 \text{ [N]}, F_{r2} = 312,10 \text{ [N]}, F_{t3} = 960,56 \text{ [N]},$$

$$F_{r3} = 361,95 \text{ [N]}, F_{a3} = 257,38 \text{ [N]}$$

rovnice rovnováhy

$$x: -F_{a3} + R_{Dx} + F_{a2} = 0 \quad (4.7.38)$$

$$y: -R_{Cy} + F_{t3} - R_{Dy} + F_{r2} = 0 \quad (4.7.39)$$

$$z: R_{Cz} - F_{R3} + R_{Dz} - F_{t2} = 0 \quad (4.7.40)$$

$$xz_D: -R_{Cz} * (c + d + e) - F_{a3} * r_3 + F_{r3} * (d + e) - F_{t2} * f = 0 \quad (4.7.41)$$

$$xy_D: R_{Cy} * (c + d + e) - F_{t3} * (d + e) + F_{r2} * f - F_{a2} * r_{m2} \quad (4.7.42)$$

Ze soustavy rovnic vypočteme reakce.

$$R_{Cz} = 71,71 \text{ [N]}, R_{Cy} = 665,72 \text{ [N]}, R_{Dy} = 606,94 \text{ [N]}, R_{Dx} = 257,38 \text{ [N]},$$

$$R_{Dz} = 896,61 \text{ [N]}$$

vnitřní statické účinky

I. řez $x \in < 0; f >$

$$xz: M_{o1} = -F_{t2} * x \quad (4.7.43)$$

$$xy: M_{o1} = F_{r2} * x - F_{a2} * r_{m2} \quad (4.7.44)$$

II. řez $x \in < f; f + e + d >$

$$xz: M_{o2} = R_{Dz} * (x - f) - F_{t2} * x \quad (4.7.45)$$

$$xy: M_{o2} = -R_{Dy} * (x - f) + F_{r2} * x - F_{a2} * r_{m2} \quad (4.7.46)$$

III. řez $x \in < f + e + d; f + e + d + c >$

$$xz: M_{o3} = -F_{a3} * r_3 - F_{r3} * (x - d - e - f) + R_{Dz} * (x - f) - F_{t2} * x \quad (4.7.47)$$

$$xy: M_{o3} = F_{t3} * (x - d - e - f) - R_{Dy} * (x - f) + F_{r2} * x - F_{a2} * r_{m2} \quad (4.7.48)$$

maximální ohybový moment

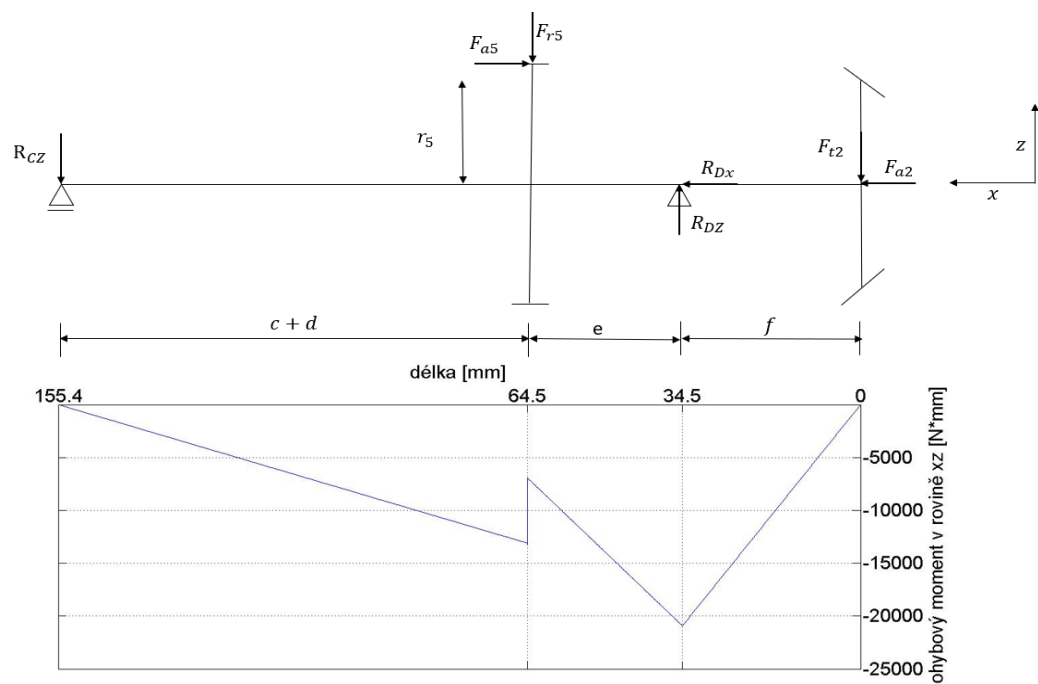
$$M_{omaxxz} = -F_{t2} * f = -606,37 * 34,5 \\ = -20919,77 \text{ [N * mm]} - 20,92 \text{ [N * m]} \quad (4.7.49)$$

$$M_{omaxxy} = -R_{Dy} * (d + e + f - f) + F_{r2} * (d + e + f) - F_{a2} * r_{m2} \\ = -606,94 * (65 + 30 + 34,5 - 34,5) + 312,10 * (65 + 30 + 34,5) \\ - 0 * 29,52 = -17242,35 \text{ [N * mm]} = -17,24 \text{ [N * m]} \quad (4.7.50)$$

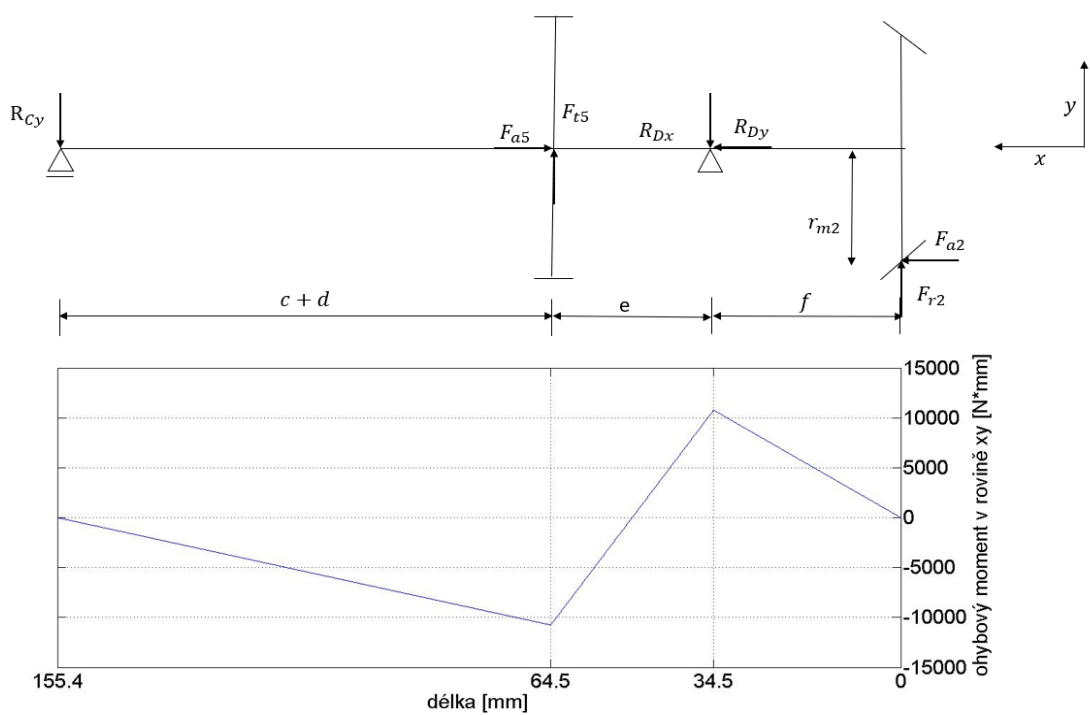
$$M_{omax} = \sqrt{M_{omaxxz}^2 + M_{omaxxy}^2} = \sqrt{(-20,92)^2 + (-17,24)^2} \\ = 27,11 \text{ [N * m]} \quad (4.7.51)$$

Druhý stupeň převodového ústrojí

– ohybové momenty



Obr. 4.6 Schéma předloňové hřídele (2. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xz.



Obr. 4.7 Schéma předloňové hřídele (2. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xy.

$$c = 25,9 \text{ [mm]}, d = 65 \text{ [mm]}, e = 30 \text{ [mm]}, f = 34,5 \text{ [mm]},$$

$$r_{m2} = \frac{1}{2} * d_{m2} = 29,52 \text{ [mm]}, r_5 = \frac{1}{2} * d_5 = 21,415 \text{ [mm]}$$

$$F_{t2} = 606,37 \text{ [N]}, F_{a2} = 0 \text{ [N]}, F_{r2} = 312,10 \text{ [N]}, F_{t5} = 835,86 \text{ [N]},$$

$$F_{r5} = 321,76 \text{ [N]}, F_{a5} = 287,91 \text{ [N]}$$

rovnice rovnováhy

$$x: -F_{a5} + R_{Dx} + F_{a2} = 0 \quad (4.7.52)$$

$$y: -R_{Cy} + F_{t5} - R_{Dy} + F_{r2} = 0 \quad (4.7.53)$$

$$z: -R_{Cz} - F_{r5} + R_{Dz} - F_{t2} = 0 \quad (4.7.54)$$

$$xz_D: R_{Cz} * (c + d + e) + F_{r5} * e - F_{a5} * r_5 - F_{t2} * f = 0 \quad (4.7.55)$$

$$xy_D: R_{Cy} * (c + d + e) - F_{t5} * e + F_{r2} * f - F_{a2} * r_{m2} = 0 \quad (4.7.56)$$

Ze soustavy rovnic vypočteme reakce.

$$R_{Cz} = 144,17 \text{ [N]}, R_{Cy} = 118,35 \text{ [N]}, R_{Dy} = 1029,61 \text{ [N]}, R_{Dx} = 287,81 \text{ [N]},$$

$$R_{Dz} = 1072,30 \text{ [N]}$$

vnitřní statické účinky

I. řez $x \in < 0; f >$

$$xz: M_{o1} = -F_{t2} * x \quad (4.7.57)$$

$$xy: M_{o1} = F_{r2} * x - F_{a2} * r_{m2} \quad (4.7.58)$$

II. řez $x \in < f; f + e >$

$$xz: M_{o2} = R_{Dz} * (x - f) - F_{t2} * x \quad (4.7.59)$$

$$xy: M_{o2} = -R_{Dy} * (x - f) + F_{r2} * x - F_{a2} * r_{m2} \quad (4.7.60)$$

III. řez $x \in < f + e; f + e + d + c >$

$$xz: M_{o3} = -F_{a5} * r_5 - F_{r5} * (x - f - e) + R_{Dz} * (x - f) - F_{t2} * x \quad (4.7.61)$$

$$xy: M_{o3} = F_{t5} * (x - e - f) - R_{Dy} * (x - f) + F_{r2} * x - F_{a2} * r_{m2} \quad (4.7.62)$$

maximální ohybový moment

$$M_{omaxxz} = -F_{t2} * f = -606,37 * 34,5 = -20919,77 \text{ [N * mm]} \\ = -20,92 \text{ [N * m]} \quad (4.7.63)$$

$$M_{omaxxy} = F_{r2} * f - F_{a2} * r_{m2} = 312,10 * 34,5 - 0 * 29,52 \\ = 10767,45 \text{ [N * mm]} = 10,77 \text{ [N * m]} \quad (4.7.64)$$

$$M_{omax} = \sqrt{M_{omaxxz}^2 + M_{omaxxy}^2} = \sqrt{(-20,92)^2 + 10,77^2} \\ = 23,53 \text{ [N * m]} \quad (4.7.65)$$

4.7.4 Návrh předlokové hřídele

Tab. 4.6 Materiálové konstanty předlokové hřídele.

Materiál	11343.0
σ_{Do} (pro střídavé namáhání)	75 [MPa]
τ_{Dk} (pro statické namáhání)	67,5 [MPa]
R_m	365 [MPa]
R_e	195 [MPa]

- **návrh průměru hřídele vzhledem k největšímu ohybovému momentu**

Maximální ohybový moment nám vzniká při zařazení prvního převodového stupně.

$$M_{omax} = 27,11 [N * m]$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (4.7.66)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{omax}}{\pi * \sigma_{Do}}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 27,11}{\pi * 75 * 10^6}} = 0,0154 [m] = 15,4 [mm] \quad (4.7.67)$$

- **návrh průměru hřídele s ohledem na krouticí moment**

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \leq \tau_{Dk} \quad (4.7.68)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * M_{k2}}{\pi * \tau_{Dk}}} = \sqrt[3]{\frac{16 * 17,9}{\pi * 67,5 * 10^6}} = 0,011 [m] = 11 [mm] \quad (4.7.69)$$

- **kontrola na střídavý ohyb**

Kontrolu provedeme v místě osazení hřídele ve vzdálenosti 51,5 [mm] od počátku souřadného systému při zařazeném prvním stupni převodového systému.

$$d = 17 [mm], r_{vrub} = 0,5 [mm]$$

výpočet ohybového momentu v daném místě

$$M_{oxz(vrub)} = R_{Dz} * (51,5 - f) - F_{t2} * 51,5 \\ = 896,61 * (51,5 - 34,5) - 606,37 * 51,5 = -15985,69 [N * mm] \quad (4.7.70)$$

$$M_{oxy(vrub)} = -R_{Dy} * (51,5 - f) + F_{r2} * 51,5 - F_{a2} * r_{m2} \\ = -606,94 * (51,5 - 34,5) + 312,10 * 51,5 - 0 * 29,52 \\ = 5755,17 [N * mm] \quad (4.7.71)$$

$$M_o(vrub) = \sqrt{M_{oxz(vrub)}^2 + M_{oxy(vrub)}^2} = \sqrt{(-15985,69)^2 + 5755,17^2} \\ = 16990,12 [N * mm] \quad (4.7.72)$$

výpočet napětí

$$\sigma_o = \frac{M_{o(vrub)}}{W_o} = \frac{32 * M_{o(vrub)}}{\pi * d^3} = \frac{32 * 16990,12}{\pi * 17^3} = 35,22 [MPa] \quad (4.7.73)$$

Potřebné tabulkové hodnoty jsou voleny z literatury [9]

$$\sigma_{Co} = 0,43 * R_m = 0,43 * 365 = 156,95 [MPa] \quad (4.7.74)$$

$$q_1 = 0,35 [-] \quad (4.7.75)$$

$$q_2 = 0,35 [-] \quad (4.7.76)$$

$$q = 0,5 * (q_1 + q_2) = 0,5 * (0,35 + 0,35) = 0,35 [-] \quad (4.7.77)$$

$$\alpha = 2,05 [-] \quad (4.7.78)$$

$$\beta = 1 + q * (\alpha - 1) = 1 + 0,35 * (2,05 - 1) = 1,3675 [-] \quad (4.7.79)$$

$$\eta = 0,95 [-] \quad (4.7.80)$$

$$d_0 = 10 [mm] \quad (4.7.81)$$

$$\nu = \nu_r = 1 - \sqrt{0,02 * \log\left(\frac{d}{d_0}\right)} = 1 - \sqrt{0,02 * \log\left(\frac{17}{10}\right)} = 0,93 [-] \quad (4.7.82)$$

$$\sigma_{Co}^* = \frac{\sigma_{Co} * \nu * \eta}{\beta} = \frac{156,95 * 0,93 * 0,95}{1,3675} = 101,40 [MPa] \quad (4.7.83)$$

bezpečnost v ohybu

$$k_o = \frac{\sigma_{Co}^*}{\sigma_o} = \frac{101,40}{35,22} = 2,88 [-] \quad (4.7.84)$$

– kontrola na statický krut

výpočet napětí

$$\tau_k = \frac{M_{k2}}{W_k} = \frac{16 * M_{k2}}{\pi * d^3} = \frac{16 * 17900}{\pi * 17^3} = 18,56 [MPa] \quad (4.7.85)$$

$$\tau_{kk} = \frac{R_e}{\sqrt{3}} = \frac{195}{\sqrt{3}} = 112,58 [MPa] \quad (4.7.86)$$

bezpečnost v krutu

$$k_k = \frac{\tau_{kk}}{\tau_k} = \frac{112,58}{18,56} = 6,07 [-] \quad (4.7.87)$$

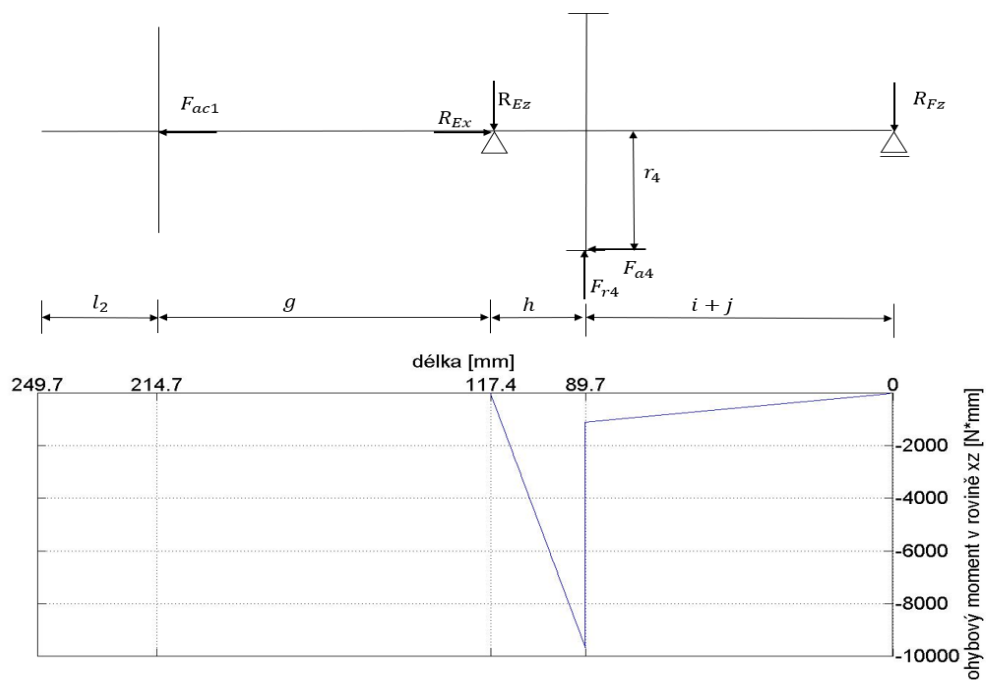
– celková bezpečnost

$$k = \sqrt{\frac{k_o^2 * k_k^2}{k_o^2 + k_k^2}} = \sqrt{\frac{2,88^2 * 6,07^2}{2,88^2 + 6,07^2}} = 2,60 [-] \quad (4.7.88)$$

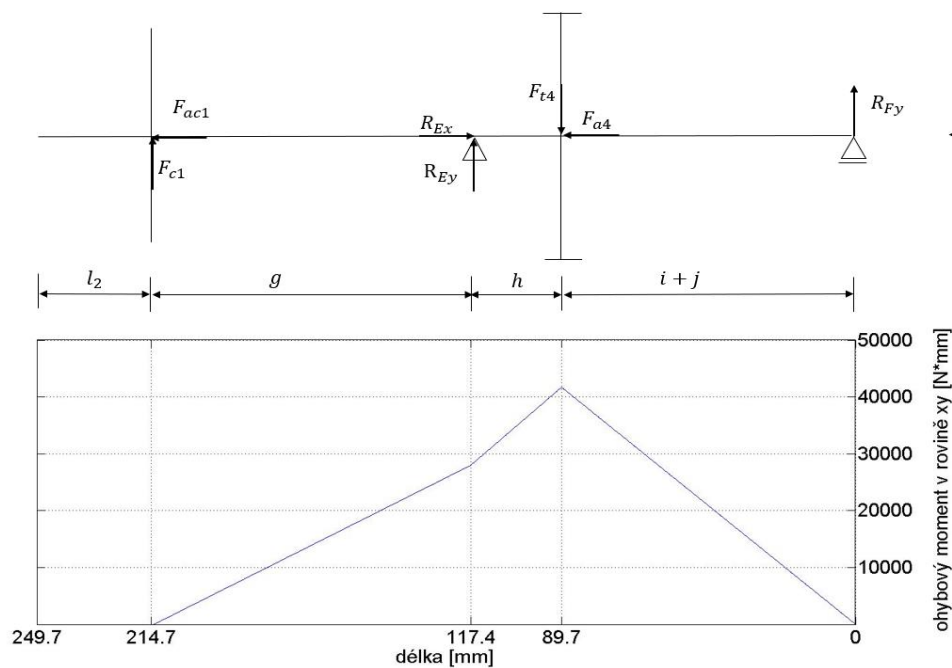
4.7.5 Výstupní hřídel

První stupeň převodového ústrojí

– výpočet ohybových momentů



Obr. 4.8 Schéma výstupní hřídele (1. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xz.



Obr. 4.9 Schéma výstupní hřídele (1. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xy.

$$l_2 = 35 [mm], g = 97,3 [mm], h = 27,7 [mm], i = 65 [mm], j = 24,7 [mm],$$

$$r_4 = \frac{1}{2} * d_4 = 33,39 [mm]$$

$$F_{t4} = 960,56 [N], F_{a4} = 257,38 [N], F_{r4} = 361,95 [N], F_{c1} = 288,33 [N],$$

$$F_{ac1} = 144,17 [N]$$

rovnice rovnováhy

$$x: -R_{Ex} + F_{a4} + F_{ac1} = 0 \quad (4.7.89)$$

$$y: R_{Ey} - F_{t4} + R_{Fy} + F_{c1} = 0 \quad (4.7.90)$$

$$z: -R_{Ez} + F_{r4} - R_{Fz} = 0 \quad (4.7.91)$$

$$xz_E: F_{r4} * h - F_{a4} * r_4 - R_{Fz} * (h + i + j) = 0 \quad (4.7.92)$$

$$xy_E: -F_{t4} * h + R_{Fy} * (h + i + j) - F_{c1} * g = 0 \quad (4.7.93)$$

Ze soustavy rovnic vypočteme reakce.

$$R_{Fz} = 12,20 [N], R_{Fy} = 465,60 [N], R_{Ey} = 206,63 [N], R_{Ex} = 401,55 [N],$$

$$R_{Ez} = 349,75 [N]$$

vnitřní statické účinky

I. řez $x \in < 0; i + j >$

$$xz: M_{o1} = -R_{Fz} * x \quad (4.7.94)$$

$$xy: M_{o1} = R_{Fy} * x \quad (4.7.95)$$

II. řez $x \in < i + j; i + j + h >$

$$xz: M_{o2} = -F_{a4} * r_4 + F_{r4} * (x - i - j) - R_{Fz} * x \quad (4.7.96)$$

$$xy: M_{o2} = -F_{t4} * (x - i - j) + R_{Fy} * x \quad (4.7.97)$$

III. řez $x \in < i + j + h; i + j + h + g >$

$$xz: M_{o3} = -R_{Ez} * (x - i - j - h) - F_{a4} * r_4 + F_{r4} * (x - i - j) - R_{Fz} * x \quad (4.7.98)$$

$$xy: M_{o3} = R_{Ey} * (x - i - j - h) - F_{t4} * (x - i - j) + R_{Fy} * x \quad (4.7.99)$$

IV. řez $x \in < i + j + h + g; i + j + h + g + l_2 >$

$$xz: M_{o4} = -R_{Ez} * (x - i - j - h) - F_{a4} * r_4 + F_{r4} * (x - i - j) - R_{Fz} * x \quad (4.7.100)$$

$$xy: M_{o4} = F_{c1} * (x - i - j - g - h) + R_{Ey} * (x - i - j - h) - F_{t4} * (x - i - j) + R_{Fy} * x \quad (4.7.101)$$

maximální ohybový moment

$$\begin{aligned} M_{omaxxz} &= -R_{Fz} * (i + j) + F_{r4} * (i + j - i - j) - F_{a4} * r_4 \\ &= -12,20 * (65 + 24,7) + 361,95 * (65 + 24,7 - 65 - 24,7) \\ &\quad - 257,38 * 33,39 = -9688,26 [N * mm] = -9,69 [N * m] \end{aligned} \quad (4.7.102)$$

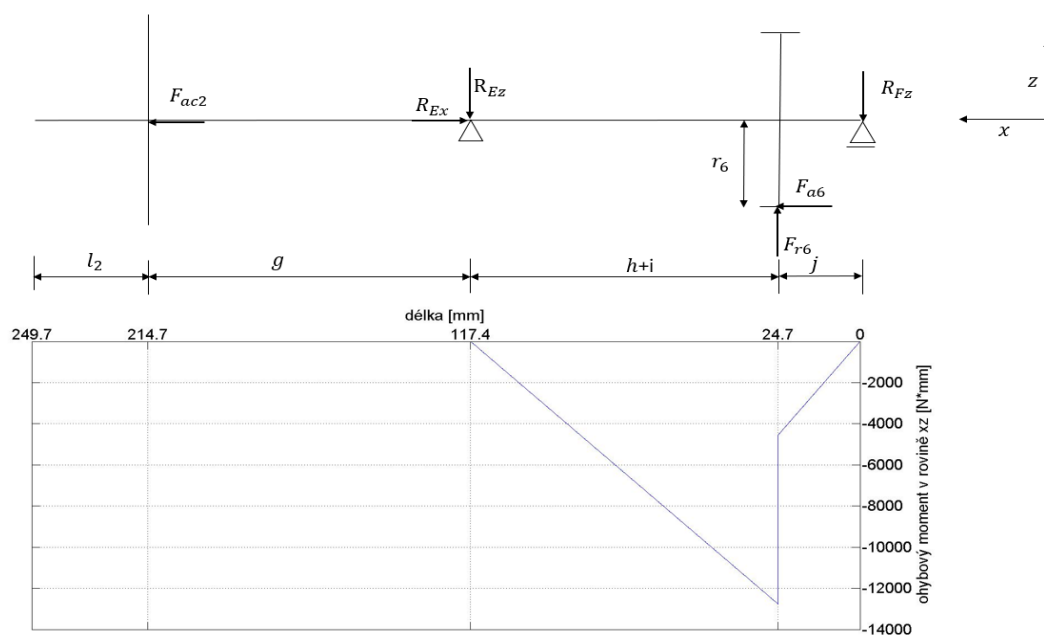
$$\begin{aligned} M_{omaxxy} &= R_{Fy} * (i + j) = 465,60 * (65 + 24,7) \\ &= 41764,32 [N * mm] = 41,76 [N * m] \end{aligned} \quad (4.7.103)$$

$$M_{omax} = \sqrt{M_{omaxxz}^2 + M_{omaxxy}^2} = \sqrt{(-9,69)^2 + 41,76^2} \quad (4.7.104)$$

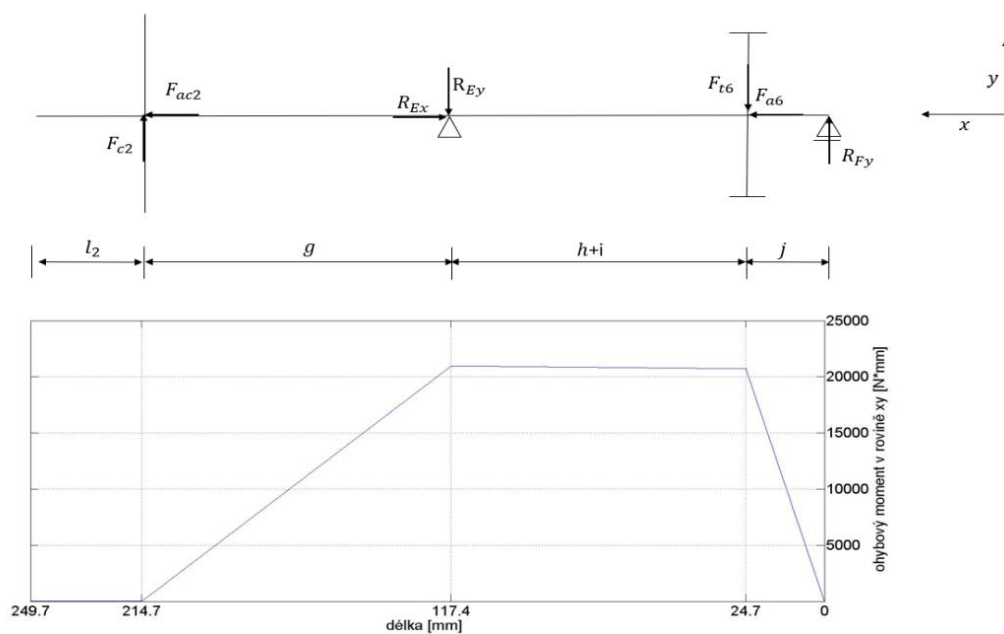
$$= 42,87 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

Druhý stupeň převodového ústrojí

– výpočet ohybových momentů



Obr. 4.10 Schéma výstupní hřídele (2. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xz.



Obr. 4.11 Schéma výstupní hřídele (2. st.) s grafem ohybového momentu v rovině xy.

$$l_2 = 35 [mm], g = 97,3 [mm], h = 27,7 [mm], i = 65 [mm], j = 24,7 [mm],$$

$$r_6 = \frac{1}{2} * d_6 = 28,56 [mm]$$

$$F_{t6} = 835,86 [N], F_{a6} = 287,81 [N], F_{r6} = 321,76 [N], F_{c2} = 215,48 [N],$$

$$F_{ac2} = 107,74 [N]$$

rovnice rovnováhy

$$x: -R_{Ex} + F_{a6} + F_{ac2} = 0 \quad (4.7.105)$$

$$y: -R_{Ey} - F_{t6} + R_{Fy} + F_{c2} = 0 \quad (4.7.106)$$

$$z: -R_{Ez} + F_{r6} - R_{Fz} = 0 \quad (4.7.107)$$

$$xz: F_{r6} * (h + i) - F_{a6} * r_6 - R_{Fz} * (h + i + j) = 0 \quad (4.7.108)$$

$$xy: -F_{t6} * (h + i) + R_{Fy} * (h + i + j) - F_{c2} * g = 0 \quad (4.7.109)$$

Ze soustavy rovnic vypočteme reakce.

$$R_{Fz} = 184,05 [N], R_{Fy} = 838,59 [N], R_{Ey} = 218,21 [N], R_{Ex} = 395,55 [N],$$

$$R_{Ez} = 137,71 [N]$$

vnitřní statické účinky

I. řez $x \in < 0; j >$

$$xz: M_{o1} = -R_{Fz} * x \quad (4.7.110)$$

$$xy: M_{o2} = R_{Fy} * x \quad (4.7.111)$$

II. řez $x \in < j; i + j + h >$

$$xz: M_{o2} = F_{r6} * (x - j) - F_{a6} * r_6 - R_{Fz} * x \quad (4.7.112)$$

$$xy: M_{o2} = -F_{t6} * (x - j) + R_{Fy} * x \quad (4.7.113)$$

III. řez $x \in < i + j + h; i + j + h + g >$

$$xz: M_{o3} = -R_{Ez} * (x - i - j - h) + F_{r6} * (x - j) - F_{a6} * r_6 - R_{Fz} * x \quad (4.7.114)$$

$$xy: M_{o3} = -R_{Ey} * (x - i - j - h) - F_{t6} * (x - j) + R_{Fy} * x \quad (4.7.115)$$

IV. řez $x \in < i + j + h + g; i + j + h + l_2 >$

$$xz: M_{o4} = -R_{Ez} * (x - i - j - h) + F_{r6} * (x - j) - F_{a6} * r_6 - R_{Fz} * x \quad (4.7.116)$$

$$xy: M_{o4} = F_{c2} * (x - i - j - h - g) - R_{Ey} * (x - i - j - h) - F_{t6} * (x - j) + R_{Fy} * x \quad (4.7.117)$$

maximální ohybový moment

$$\begin{aligned} M_{omaxxz} &= F_{r6} * (j - j) - F_{a6} * r_6 - R_{Fz} * j \\ &= 321,76 * (24,7 - 24,7) - 287,81 * 28,56 - 184,05 * 24,7 \\ &= -12765,89 [N * mm] = -12,77 [N * m] \end{aligned} \quad (4.7.118)$$

$$\begin{aligned} M_{omaxxy} &= -F_{t6} * (i + j + h - j) + R_{Fy} * (i + j + h) \\ &= -835,86 * (65 + 24,7 + 27,7 - 24,7) + 838,59 * (65 + 24,7 + 27,7) \\ &= 20966,24 [N * mm] = 20,97 [N * m] \end{aligned} \quad (4.7.119)$$

$$\begin{aligned} M_{omax} &= \sqrt{M_{omaxxz}^2 + M_{omaxxy}^2} = \sqrt{(-12,77)^2 + 20,97^2} \\ &= 24,55 [N * m] \end{aligned} \quad (4.7.120)$$

4.7.6 Návrh výstupní hřídele

Tab. 4.7 Materiálové konstanty výstupní hřídele.

Materiál	11343.0
σ_{Do} (pro střídavé namáhání)	75 [MPa]
τ_{Dk} (pro statické namáhání)	67,5 [MPa]
R_m	365 [MPa]
R_e	195 [MPa]

- **návrh průměru hřídele vzhledem k největšímu ohybovému momentu**

Maximální ohybový moment nám vzniká při zařazení prvního převodového stupně.

$$M_{omax} = 42,87 [N * m]$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{Do} \quad (4.7.121)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{omax}}{\pi * \sigma_{Do}}} = \sqrt[3]{\frac{32 * 42,87}{\pi * 75 * 10^6}} = 0,0180 [m] = 18 [mm] \quad (4.7.122)$$

- **návrh průměru hřídele s ohledem na krouticí moment**

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \leq \tau_{Dk} \quad (4.7.123)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * M_{k3-34}}{\pi * \tau_{Dk}}} = \sqrt[3]{\frac{16 * 31,86}{\pi * 67,5 * 10^6}} = 0,0134 [m] = 13,4 [mm] \quad (4.7.124)$$

- **kontrola na střídavý ohyb**

Kontrolu provedeme v místě osazení hřídele ve vzdálenosti 76,7 [mm] od počátku souřadného systému při zařazeném prvním stupni převodového systému.

$$d = 20 [mm], r_{vrub} = 0,5 [mm]$$

výpočet ohybového momentu v daném místě

$$M_{oxz(vrub)} = -R_{Fz} * 76,7 = -12,20 * 76,7 = -935,74 [N * mm] \quad (4.7.125)$$

$$M_{oxy(vrub)} = R_{Fy} * 76,7 = 465,60 * 76,7 = 35711,52 [N * mm] \quad (4.7.126)$$

$$M_o(vrub) = \sqrt{M_{oxz(vrub)}^2 + M_{oxy(vrub)}^2} = \sqrt{(-935,74)^2 + 35711,52^2} = 35723,78 [N * mm] \quad (4.7.127)$$

výpočet napětí

$$\sigma_o = \frac{M_{o(vrub)}}{W_o} = \frac{32 * M_{o(vrub)}}{\pi * d^3} = \frac{32 * 35723,78}{\pi * 20^3} = 45,48 [MPa] \quad (4.7.128)$$

Potřebné tabulkové hodnoty jsou voleny z literatury [9].

$$\sigma_{Co} = 0,43 * R_m = 0,43 * 365 = 156,95 [MPa] \quad (4.7.129)$$

$$q_1 = 0,35 [-] \quad (4.7.130)$$

$$q_2 = 0,35 [-] \quad (4.7.131)$$

$$q = 0,5 * (q_1 + q_2) = 0,5 * (0,35 + 0,35) = 0,35 [-] \quad (4.7.132)$$

$$\alpha = 2,35 [-] \quad (4.7.133)$$

$$\beta = 1 + q * (\alpha - 1) = 1 + 0,35 * (2,35 - 1) = 1,4725 [-] \quad (4.7.134)$$

$$\eta = 0,93 [-] \quad (4.7.135)$$

$$d_0 = 10 [mm] \quad (4.7.136)$$

$$v = v_r = 1 - \sqrt{0,02 * \log\left(\frac{d}{d_0}\right)} = 1 - \sqrt{0,02 * \log\left(\frac{20}{10}\right)} = 0,92 [-] \quad (4.7.137)$$

$$\sigma_{Co}^* = \frac{\sigma_{Co} * v * \eta}{\beta} = \frac{156,95 * 0,92 * 0,93}{1,4725} = 91,20 [MPa] \quad (4.7.138)$$

bezpečnost v ohybu

$$k_o = \frac{\sigma_{Co}^*}{\sigma_o} = \frac{91,20}{45,48} = 2,01 [-] \quad (4.7.139)$$

– kontrola na statický krut

výpočet napětí

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{16 * M_{k3-34}}{\pi * d^3} = \frac{16 * 31860}{\pi * 20^3} = 20,28 [MPa] \quad (4.7.140)$$

$$\tau_{kk} = \frac{R_e}{\sqrt{3}} = \frac{195}{\sqrt{3}} = 112,58 [MPa] \quad (4.7.141)$$

bezpečnost v krutu

$$k_k = \frac{\tau_{kk}}{\tau_k} = \frac{112,58}{20,28} = 5,55 [-] \quad (4.7.142)$$

– celková bezpečnost

$$k = \sqrt{\frac{k_o^2 * k_k^2}{k_o^2 + k_k^2}} = \sqrt{\frac{2,01^2 * 5,55^2}{2,01^2 + 5,55^2}} = 1,89 [-] \quad (4.7.143)$$

4.8 Návrh ložisek

Ložiska musí splňovat podmínku minimální trvanlivosti 8000 hodin. Jsou použita od firmy SKF. Potřebné hodnoty pro výpočet trvanlivosti vchází z [10].

4.8.1 Návrh ložisek na vstupní hřídeli

– ložisko A

Ložisko A volíme kuličkové ložisko od firmy SKF s označením 6303.

$$F_{RA} = \sqrt{R_{Ay}^2 + R_{Az}^2} = \sqrt{307,11^2 + 798,39^2} = 855,42 \text{ [N]} \quad (4.8.1)$$

$$F_{AA}=0 \quad (4.8.2)$$

$$P = F_{RA} = 855,42 \text{ [N]} \quad (4.8.3)$$

$$C = 14300 \text{ [N]} \quad (4.8.4)$$

$$p = 3 \text{ [-]} \quad (4.8.5)$$

$$L_H = \left(\frac{C}{P}\right)^p * \frac{10^6}{60 * n_1} = \left(\frac{14300}{855,42}\right)^3 * \frac{10^6}{60 * 8000} = 9732,60 \text{ [hodin]} \quad (4.8.6)$$

– ložisko B

Ložisko B volíme jednořadé válečkové ložisko od firmy SKF s označením NUP 203 ECP.

$$F_{RB} = \sqrt{R_{By}^2 + R_{Bz}^2} = \sqrt{307,11^2 + 1404,76^2} = 1437,94 \text{ [N]} \quad (4.8.7)$$

$$F_{AB} = R_{Bx} = 312,10 \text{ [N]} \quad (4.8.8)$$

$$C = 20000 \text{ [N]} \quad (4.8.9)$$

$$e = 0,2 \text{ [-]} \quad (4.8.10)$$

$$Y = 0,6 \text{ [-]} \quad (4.8.11)$$

$$p = \frac{10}{3} \text{ [-]} \quad (4.8.12)$$

$$\frac{F_{AB}}{F_{RB}} = \frac{312,10}{1437,94} = 0,22 \text{ [-]} \quad (4.8.13)$$

$$\frac{F_{AB}}{F_{RB}} > e \Rightarrow P = 0,92 * F_{RB} + Y * F_{AB} \quad (4.8.14)$$

$$P = 0,92 * 1437,94 + 0,6 * 312,10 = 1510,16 \text{ [N]} \quad (4.8.15)$$

$$L_H = \left(\frac{C}{P}\right)^p * \frac{10^6}{60 * n_1} = \left(\frac{20000}{1510,16}\right)^{\frac{10}{3}} * \frac{10^6}{60 * 8000} = 11449,39 \text{ [hodin]} \quad (4.8.16)$$

4.8.2 Návrh ložisek na předloňové hřídeli

– ložisko C

Ložisko C volíme kuličkové ložisko od firmy SKF s označením 6303. Návrh provádíme při zařazeném prvním stupni převodového systému.

$$F_{RC} = \sqrt{R_{Cy}^2 + R_{Cz}^2} = \sqrt{665,72^2 + 71,71^2} = 669,57 \text{ [N]} \quad (4.8.17)$$

$$F_{AC}=0 \quad (4.8.18)$$

$$P = F_{RC} = 669,57 \text{ [N]} \quad (4.8.19)$$

$$C = 14300 \text{ [N]} \quad (4.8.20)$$

$$p = 3 \text{ [-]} \quad (4.8.21)$$

$$L_H = \left(\frac{C}{P}\right)^p * \frac{10^6}{60 * n_1} = \left(\frac{14300}{669,57}\right)^3 * \frac{10^6}{60 * 8000} = 20294,53 \text{ [hodin]} \quad (4.8.22)$$

– ložisko D

Ložisko D volíme jednořadé válečkové ložisko od firmy SKF s označením NUP 203 ECP. Návrh provádíme při zařazeném druhém stupni převodového systému.

$$F_{RD} = \sqrt{R_{Dy}^2 + R_{Dz}^2} = \sqrt{1029,61^2 + 1072,30^2} = 1486,58 \text{ [N]} \quad (4.8.23)$$

$$F_{AD} = R_{Dx} = 287,81 \text{ [N]} \quad (4.8.24)$$

$$C = 20000 \text{ [N]} \quad (4.8.25)$$

$$e = 0,2 \text{ [-]} \quad (4.8.26)$$

$$Y = 0,6 \text{ [-]} \quad (4.8.27)$$

$$p = \frac{10}{3} \text{ [-]} \quad (4.8.28)$$

$$\frac{F_{AD}}{F_{RD}} = \frac{287,81}{1486,58} = 0,19 \text{ [-]} \quad (4.8.29)$$

$$\frac{F_{AB}}{F_{RB}} < e \Rightarrow P = F_{RD} \quad (4.8.30)$$

$$P = 1486,58 \text{ [N]} \quad (4.8.31)$$

$$L_H = \left(\frac{C}{P}\right)^p * \frac{10^6}{60 * n_1} = \left(\frac{20000}{1486,58}\right)^{\frac{10}{3}} * \frac{10^6}{60 * 8000} = 12066,03 \text{ [hodin]} \quad (4.8.32)$$

4.8.3 Návrh ložisek na výstupní hřídeli

– ložisko E

Ložisko E volíme kuličkové ložisko od firmy SKF s označením 6204. Návrh provádíme při zařazeném prvním stupni převodového systému.

$$F_{RE} = \sqrt{R_{Ey}^2 + R_{Ez}^2} = \sqrt{206,63^2 + 349,75^2} = 406,22 \text{ [N]} \quad (4.8.33)$$

$$F_{AE}=401,55 \text{ [N]} \quad (4.8.34)$$

$$C = 13500 \text{ [N]} \quad (4.8.35)$$

$$e = 0,27 \text{ [-]} \quad (4.8.36)$$

$$p = 3 [-] \quad (4.8.37)$$

$$X = 0,56 [-] \quad (4.8.38)$$

$$Y = 1,66 [-] \quad (4.8.39)$$

$$\frac{F_{AE}}{F_{RE}} = \frac{401,55}{406,22} = 0,99 [-] \quad (4.8.40)$$

$$\frac{F_{AE}}{F_{RE}} > e \Rightarrow P = X * F_{RE} + Y * F_{AE} \quad (4.8.41)$$

$$P = 0,56 * 406,22 + 1,66 * 401,55 = 894,06 [N] \quad (4.8.42)$$

$$L_H = \left(\frac{C}{P}\right)^p * \frac{10^6}{60 * n_2} = \left(\frac{13500}{894,06}\right)^3 * \frac{10^6}{60 * 4500} = 12750,80 [hodin] \quad (4.8.43)$$

– ložisko F

Ložisko F volíme kuličkové ložisko od firmy SKF s označením 6204. Návrh provádíme při zařazeném druhém stupni převodového systému.

$$F_{RF} = \sqrt{R_{Fy}^2 + R_{Fz}^2} = \sqrt{838,59^2 + 184,05^2} = 858,55 [N] \quad (4.8.44)$$

$$F_{AC} = 0 [N] \quad (4.8.45)$$

$$P = F_{RF} = 858,55 [N] \quad (4.8.46)$$

$$C = 13500 [N] \quad (4.8.47)$$

$$p = 3 [-] \quad (4.8.48)$$

$$L_H = \left(\frac{C}{P}\right)^p * \frac{10^6}{60 * n_3} = \left(\frac{13500}{858,55}\right)^3 * \frac{10^6}{60 * 6000} = 10799,46 [hodin] \quad (4.8.49)$$

4.9 Návrh těsných per

4.9.1 Vstupní hřídel

– pero těsné pod zubovou spojkou

$$d = 15 [mm], M_{k1} = 17900 [N * mm]$$

Z literatury [11], [12].

$$h = 5 [mm], b = 5 [mm], p_D = 120 [MPa]$$

$$l_p = \frac{4 * M_{k1}}{p_D * d * h} = \frac{4 * 17900}{120 * 15 * 5} = 7,96 [mm] \quad (4.9.1)$$

Účinnou délku pera volím $l_p = 15 [mm] \Rightarrow$ délka pera $l = 20 [mm]$

$$l_p \leq 1,2 * d \quad (4.9.2)$$

$$1,2 * d = 1,2 * 15 = 18 [mm] \Rightarrow \textbf{VYHOVUJE} \quad (4.9.3)$$

PERO TĚSNÉ 5e7x5x20 ČSN 02 2562

– **pero těsné pod kuželovým kolem**

$$d = 17 \text{ [mm]}, M_{k1} = 17900 \text{ [N * mm]}$$

Z literatury [11], [12].

$$h = 5 \text{ [mm]}, b = 5 \text{ [mm]}, p_D = 120 \text{ [MPa]}$$

$$l_p = \frac{4 * M_{k1}}{p_D * d * h} = \frac{4 * 17900}{120 * 17 * 5} = 7,02 \text{ [mm]} \quad (4.9.4)$$

Účinnou délku pera volíme $l_p = 15 \text{ [mm]} \Rightarrow$ délka pera $l = 20 \text{ [mm]}$

$$l_p \leq 1,2 * d \quad (4.9.5)$$

$$1,2 * d = 1,2 * 17 = 20,4 \text{ [mm]} \Rightarrow \textbf{VYHOVUJE} \quad (4.9.6)$$

PERO TĚSNÉ 5e7x5x20 ČSN 02 2562

4.9.2 Předlohová hřídel

– **pero těsné pod kuželovým kolem**

$$d = 17 \text{ [mm]}, M_{k1} = 17900 \text{ [N * mm]}$$

Z literatury [11], [12].

$$h = 5 \text{ [mm]}, b = 5 \text{ [mm]}, p_D = 120 \text{ [MPa]}$$

$$l_p = \frac{4 * M_{k1}}{p_D * d * h} = \frac{4 * 17900}{120 * 17 * 5} = 7,02 \text{ [mm]} \quad (4.9.7)$$

Účinnou délku pera volíme $l_p = 15 \text{ [mm]} \Rightarrow$ délka pera $l = 20 \text{ [mm]}$

$$l_p \leq 1,2 * d \quad (4.9.8)$$

$$1,2 * d = 1,2 * 17 = 20,4 \text{ [mm]} \Rightarrow \textbf{VYHOVUJE} \quad (4.9.9)$$

PERO TĚSNÉ 5e7x5x20 ČSN 02 2562

4.9.3 Výstupní hřídel

– **pero těsné pod čelním ozubeným kolem 4**

$$d = 20 \text{ [mm]}, M_{k3-34} = 31860 \text{ [N * mm]}$$

Z literatury [11], [12].

$$h = 6 \text{ [mm]}, b = 6 \text{ [mm]}, p_D = 120 \text{ [MPa]}$$

$$l_p = \frac{4 * M_{k3-34}}{p_D * d * h} = \frac{4 * 31860}{120 * 20 * 6} = 8,85 \text{ [mm]} \quad (4.9.10)$$

Účinnou délku pera volíme $l_p = 14 \text{ [mm]} \Rightarrow$ délka pera $l = 20 \text{ [mm]}$

$$l_p \leq 1,2 * d \quad (4.9.11)$$

$$1,2 * d = 1,2 * 20 = 24 \text{ [mm]} \Rightarrow \textbf{VYHOVUJE} \quad (4.9.12)$$

PERO TĚSNÉ 6e7x6x20 ČSN 02 2562

– **pero těsné pod čelním ozubeným kolem 6**

$$d = 20 \text{ [mm]}, M_{k3-56} = 23810 \text{ [N * mm]}$$

Z literatury [11], [12].

$$h = 6 \text{ [mm]}, b = 6 \text{ [mm]}, p_D = 120 \text{ [MPa]}$$

$$l_p = \frac{4 * M_{k3-56}}{p_D * d * h} = \frac{4 * 23810}{120 * 20 * 6} = 6,61 \text{ [mm]} \quad (4.9.13)$$

Účinnou délku pera volíme $l_p = 14 \text{ [mm]} \Rightarrow$ délka pera $l = 20 \text{ [mm]}$

$$l_p \leq 1,2 * d \quad (4.9.14)$$

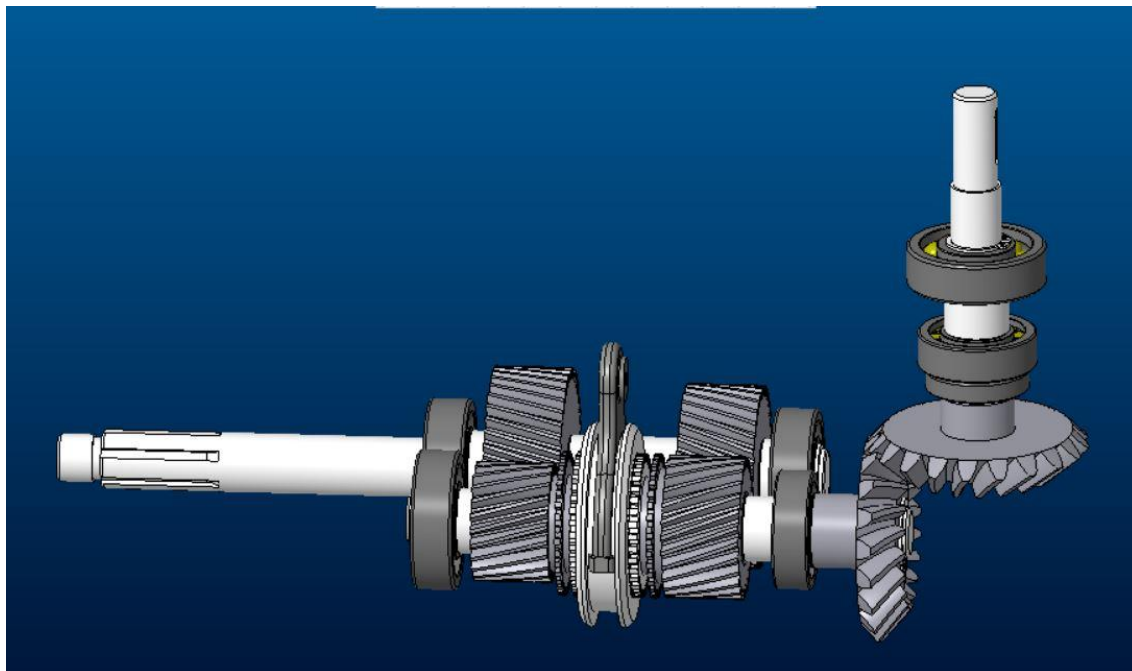
$$1,2 * d = 1,2 * 20 = 24 \text{ [mm]} \Rightarrow \textbf{VYHOVUJE} \quad (4.9.15)$$

PERO TĚSNÉ 6e7x6x20 ČSN 02 2562

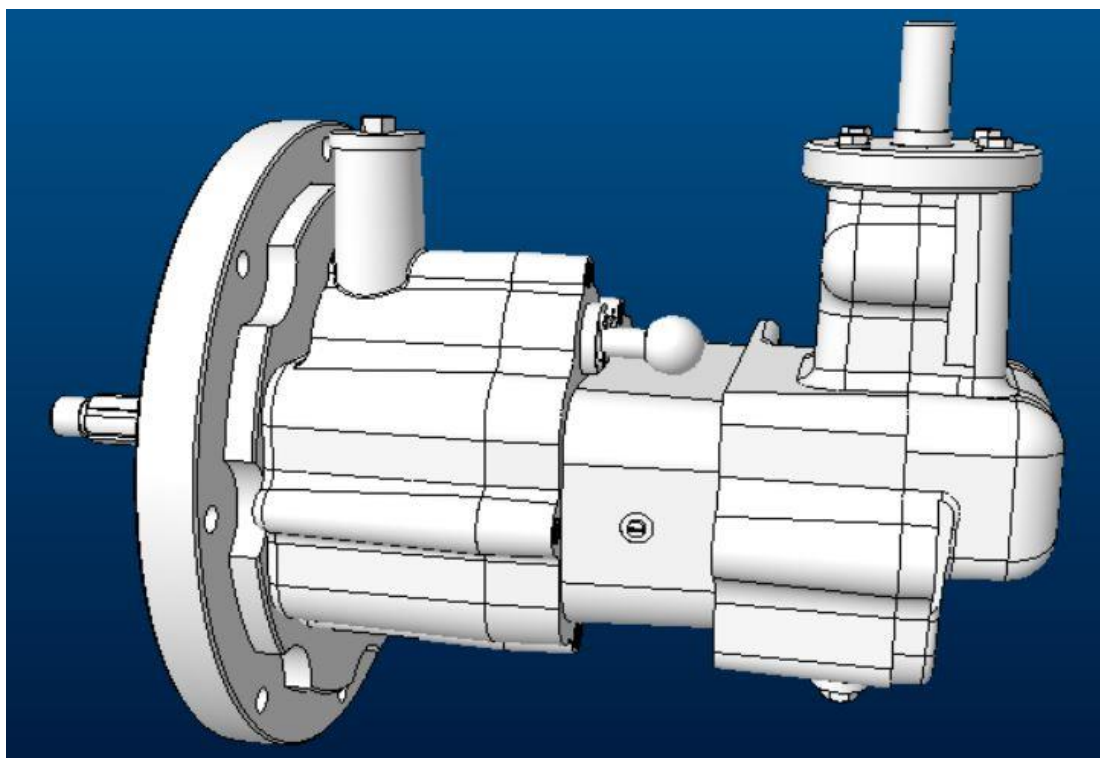
5 Konstrukční řešení převodového systému

Konstrukční řešení převodového systému se odvíjí především od místa použití. Podle toho musíme zvolit správné uspořádání ozubených kol a hřídelů. V převodovkách používáme především ozubená kola se šikmými zuby pro jejich výhody oproti kolům s přímými zuby. Při návrhu ozubených kol je důležité provést pevnostní kontrolu, ke které slouží norma ČSN 01 4686. Pro výpočet jsme využili zjednodušenou variantu vzorců z uvedené normy. Někdo si může představit hřídel převodovky pouze jako kus tyče, ale není tomu tak. Na hřídeli se nachází různé osazení, které může bránit axiálnímu posunutí ložiska, drážky pro pero atd. Stejně jako u ozubených kol je třeba provést pevnostní kontrolu, která nám sdělí velikost bezpečnosti. Při výpočtu je potřeba v první řadě zjistit, jak je hřídel zatěžována. Důležité je zvolení správných ložisek. Na vstupní a předlokové hřídeli volíme jednořadá válečková ložiska a radiální kuličková ložiska. Válečkové plní funkci axiálně vodícího a kuličkové axiálně volného ložiska. Výstupní hřídel je osazen dvěma radiálními kuličkovými ložisky. Pro přenos kroutícího momentu pod kuželovými koly volíme těsná pera. Stejně provedení je uplatněno na výstupní hřídeli pod čelními koly. Kola na předlokové hřídeli jsou umístěna na kluzných pouzdrech. Hlavním důvodem je použití řadicího mechanismu pomocí synchronizační spojky. Spojka je umístěna mezi ozubenými koly. V místě, kde je potřeba zamezit axiálnímu posuvu součástky na hřídeli, je použito pojistných kroužků. Komponenty v převodovce je potřeba mazat. Proti úniku maziva umístíme na potřebné hřídele těsnicí kroužky. Všechny komponenty jsou usazeny

do odlévané skříně. Celý mechanismus je připojen přes vstupní hřídel převodovky ke spalovacímu motoru pomocí zvolené zubové spojky. Na konci výstupní hřídele nalezneme drážkování a závit pro nasazení oběžného kola čerpadla.



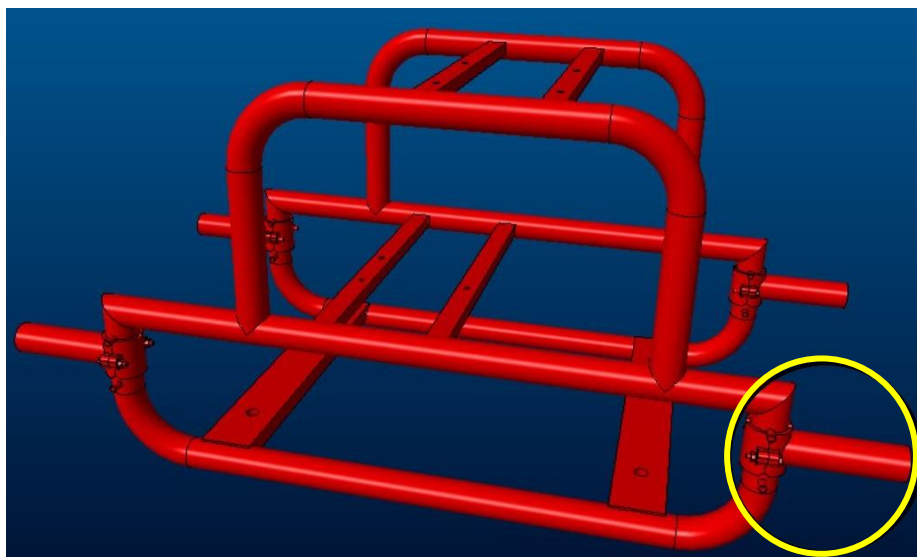
Obr. 5.1 Převodové ústrojí bez skříně.



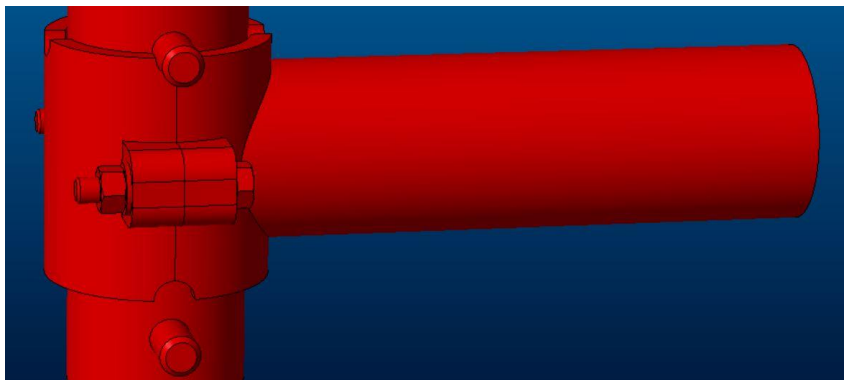
Obr. 5.2 Převodové ústrojí.

6 Konstrukční návrh rámu pro uložení pohonného systému

Konstrukce rámu musí být přizpůsobena sestavě motorové stříkačky. Jedná se o přenosnou stříkačku, proto je kladen důraz na tuhost a na snadnou manipulaci při dopravě na určené místo. Základní tvar rámu se skládá z normalizovaných kruhových a obdélníkových trubek z materiálu 11353.0, ze kterých příslušný celek vznikne pomocí ohýbání a svařování. Nedílnou součástí jsou rukojeti. Rukojeti slouží pro snadné naložení a vyložení z dopravního prostředku a také ke snadné přepravě na nepřístupná místa pro vozidla. Konstrukce rukojetí je řešena podle (viz obr. 6.2). Komponenty zařízení jsou usazeny na pryžových pružinách, které slouží k tlumení vibrací při chodu zařízení a vše je připevněno šrouby.



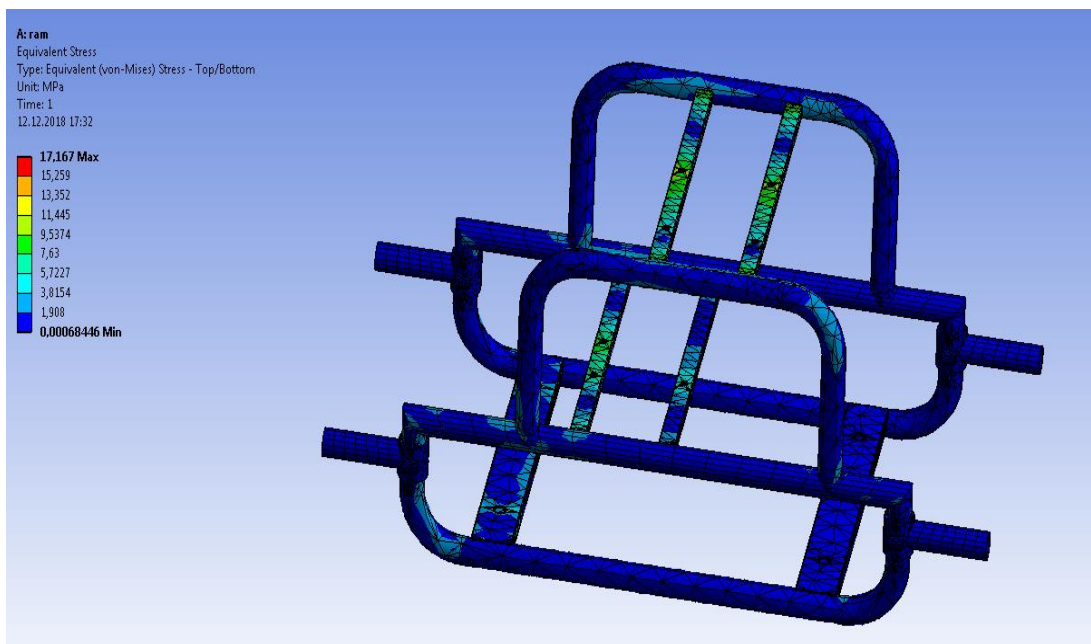
Obr. 6.1 Rám.



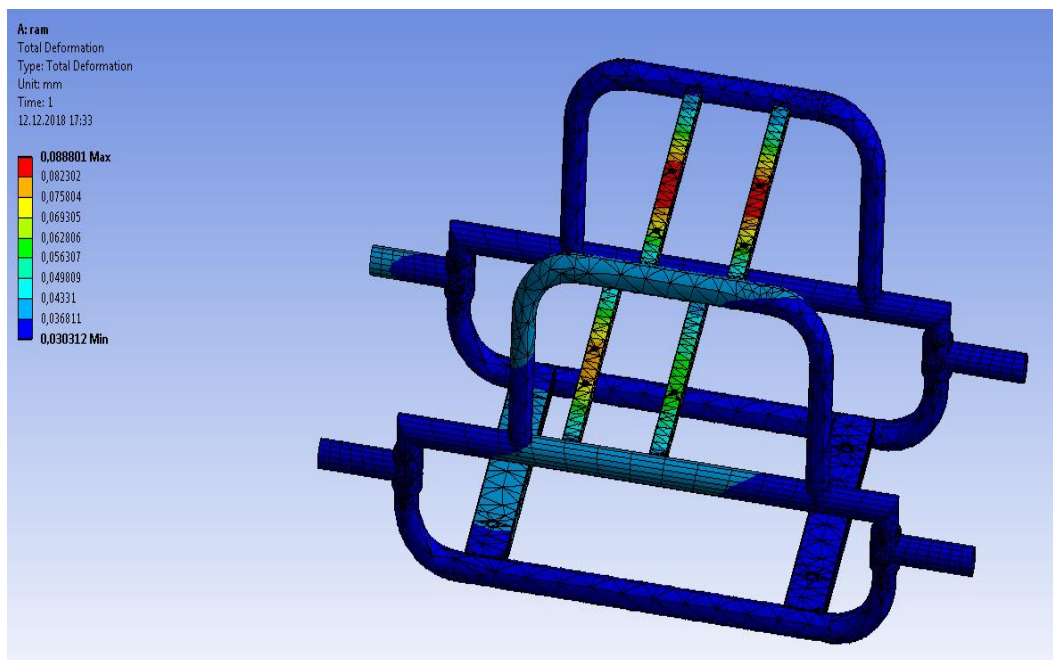
Obr. 6.2 Rukojeť rámu.

6.1 Pevnostní výpočet rámu

Jelikož jsme chtěli zjistit velikost napětí a průhybu v rámu, použili jsme metodu konečných prvků. Tuto metodu ovládá spousta výpočetních programů. V bakalářské práci volíme studentskou verzi programu Ansys Workbench 14.5, která má jistá omezení při tvorbě sítě. Rám jsme řešili jako statickou úlohu. Zatížení je tvořeno váhou, která působí od motoru, převodovky a čerpadla.



Obr. 6.3 Napětí v rámu.



Obr. 6.4 Průhyb v rámu.

7 Ekonomické zhodnocení

Při koupi zařízení zákazník nehledí pouze na provedení, ale také na cenu. Na tento fakt musíme při návrhu myslet. Provést přesnou kalkulaci nákladů na výrobu je velmi obtížné. Přesnou kalkulaci by mohly provést firmy, které se výrobou komponentu převodovky zabývají.

7.1 Rozvaha nákladů na ekonomické zhodnocení převodové skříně

V rámci řešení bakalářské práce je tato kapitola zaměřena na orientační ekonomické zhodnocení výroby převodové skříně. Předpokladem je, že převodová skříň bude vyrobena z hliníkové slitiny $AlSi9Cu3$, jejíž označení je EN AC 46000. Tato slitina je téměř eutektického složení a lze ji dále zpracovávat precipitačním vytvrzováním. Pro slévárny je dodávána v 15 kg houskách, cena 1 kg hliníkové slitiny se na dnešním trhu pohybuje cca od 90 do 100 Kč. Hmotnost převodové skříně jsou 4 kg. Lze předpokládat, že pro její výrobu je třeba 4 x 1,1 slitiny hliníku. Pro vlastní výrobu odlitků je třeba počítat s náklady na provádění tavby hliníku. Pro průmyslové tavení slitin hliníku se používají plynové pece. Náklady na tavení a metalurgickou přípravu 1 kg taveniny závisí na výrobcí. V současné době se náklady na přípravu taveniny 1 kg slitiny hliníku (bez její ceny) pohybují cca 200,- Kč. K této částce je ještě nutno přičíst další režijní náklady na metalurgické ošetřování taveniny a její převoz k tlakovým horizontálním strojům. Do ceny této skříně se také promítá cena vysokotlakového stroje, na kterém se bude těleso převodové skříně vyrábět. Obecně je cena tlakového stroje závislá na jeho výrobcí. V neposlední řadě se do ceny odlitků promítne i cena vysokotlaké slévárenské formy, která se podle složitosti odlitku může pohybovat až v částce 12 000 000 Kč. Náklady na pořízení tlakového stroje a formy se rozprostřou do velikosti série vyrobených kusů. Skříň se musí v dalším kroku obrábět k dosažení přesných rozměrů funkčních ploch.

Jak je z výše uvedených informací patrné, je tato rozvaha provedena na základě obecných znalostí výroby odlitků ze slitin hliníku, odlévaných vysokotlakým způsobem.

Pro upřesnění výrobních nákladů by musel být uveden přesný výrobce těchto odlitků, který by na základě roční produkce upřesnil ceny jednotlivých položek potřebných k získání celkové ceny jednoho odlitku tělesa převodovky.

7.2 Rozvaha nákladů na ekonomické zhodnocení dalších komponentů převodovky

Polotovary pro hřídele lze zakoupit. Jedná se o kruhové tyče, které je potřeba obrobit. Cena obrábění je ve velké míře ovlivněna požadovanou přesností rozměrů a drsností povrchu. Požadavky na uložení ložisek jsou relativně přísné, proto tyto plochy musíme brousit. Další položkou jsou ozubená kola. Převodovka se skládá z ozubených kol se šikmými zuby. Tato kola jsou na výrobu dražší než kola s přímými zuby, ale poskytují velké výhody. Pro námi využitá kola je výrobní cesta poměrně složitá. Jednalo by se především o výrobu ozubení na speciální odvalovací frézce, kalení a broušení. Cena řadicího mechanismu pomocí synchronizační spojky se pohybuje v řádu několika tisíc korun. Dále se převodovka skládá ze zubové spojky a normalizovaných součástí. Cena těchto dílů je uvedena v tab. 7.1.

Tab. 7.1 Cena normalizovaných součástí a zubové spojky.

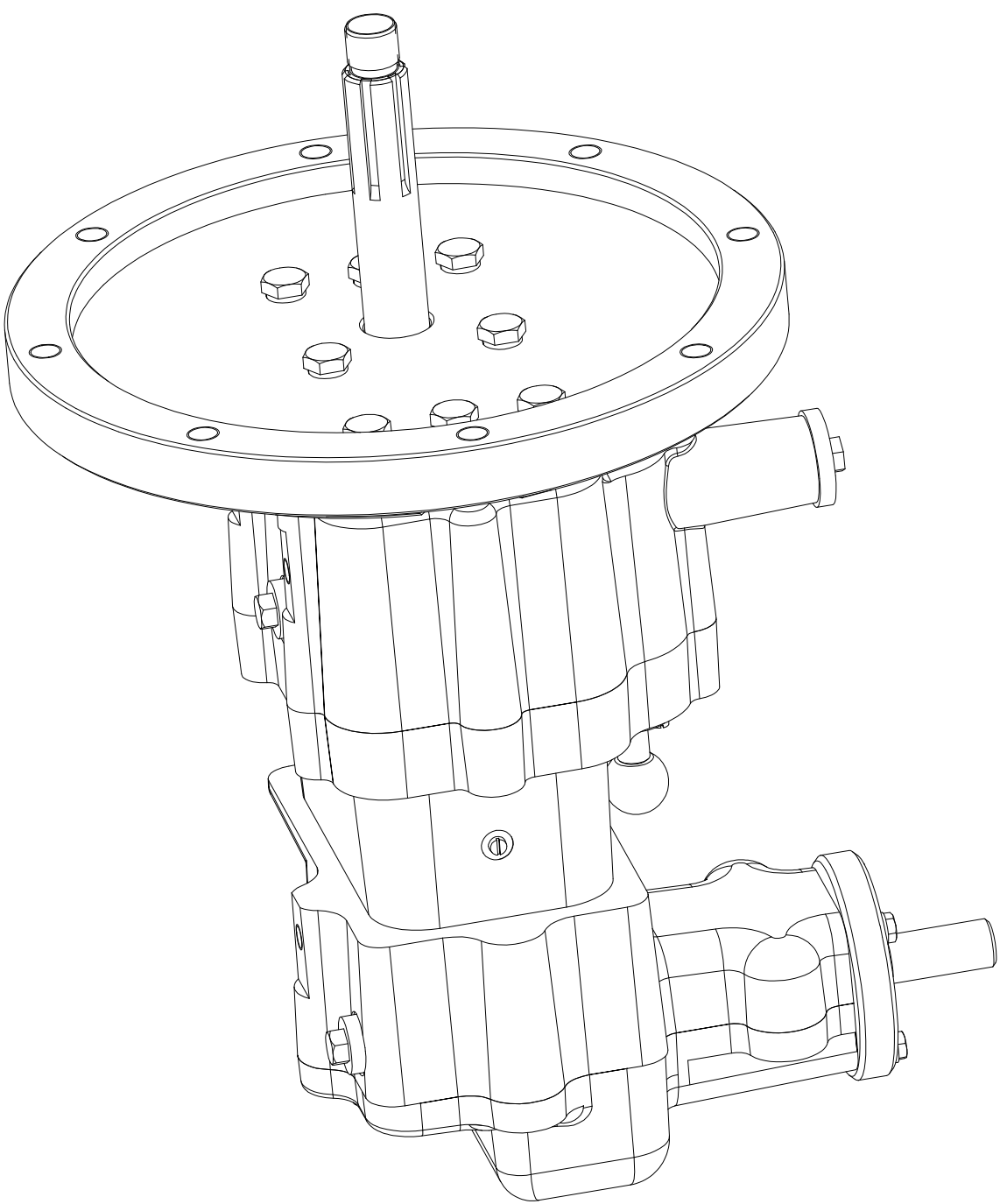
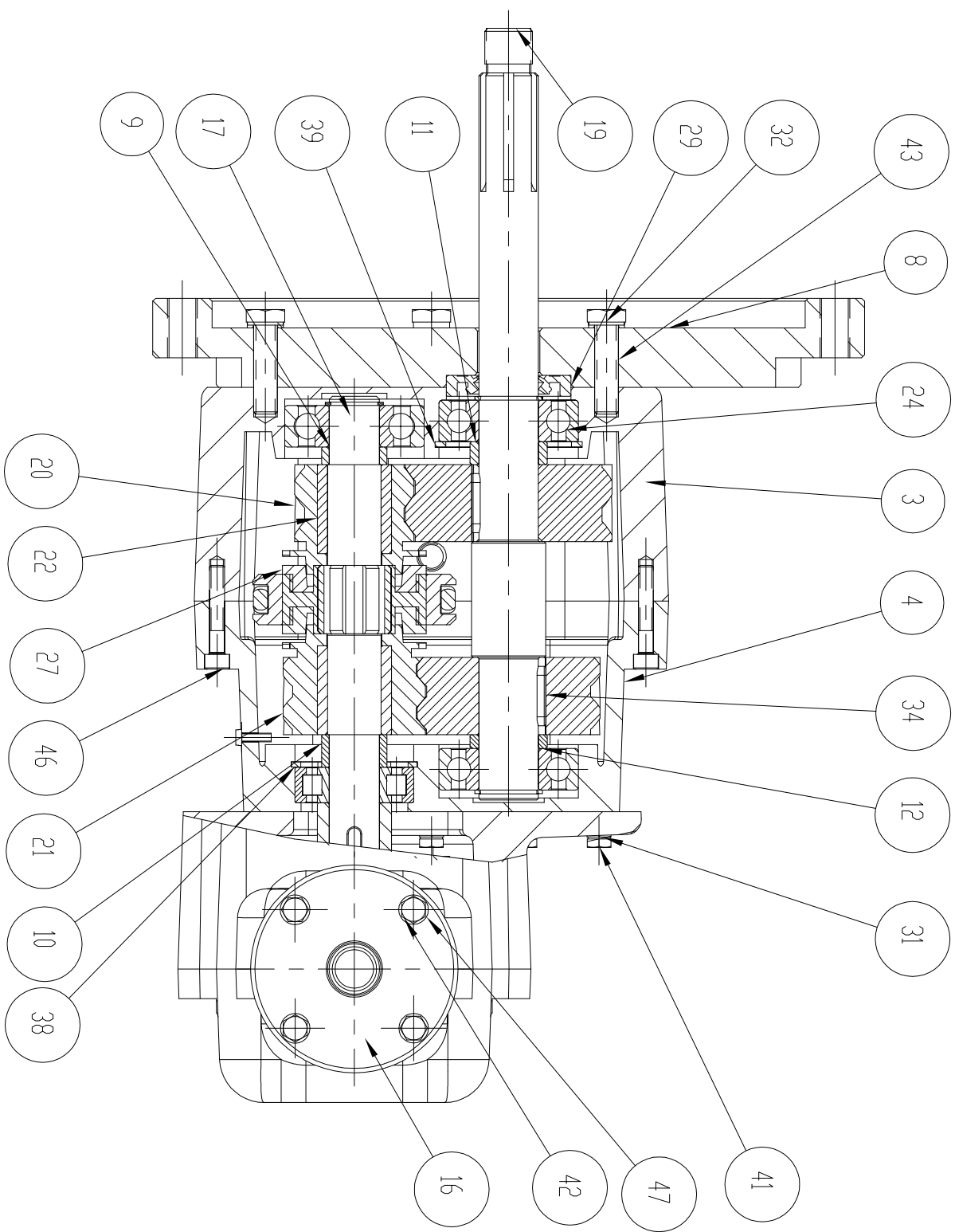
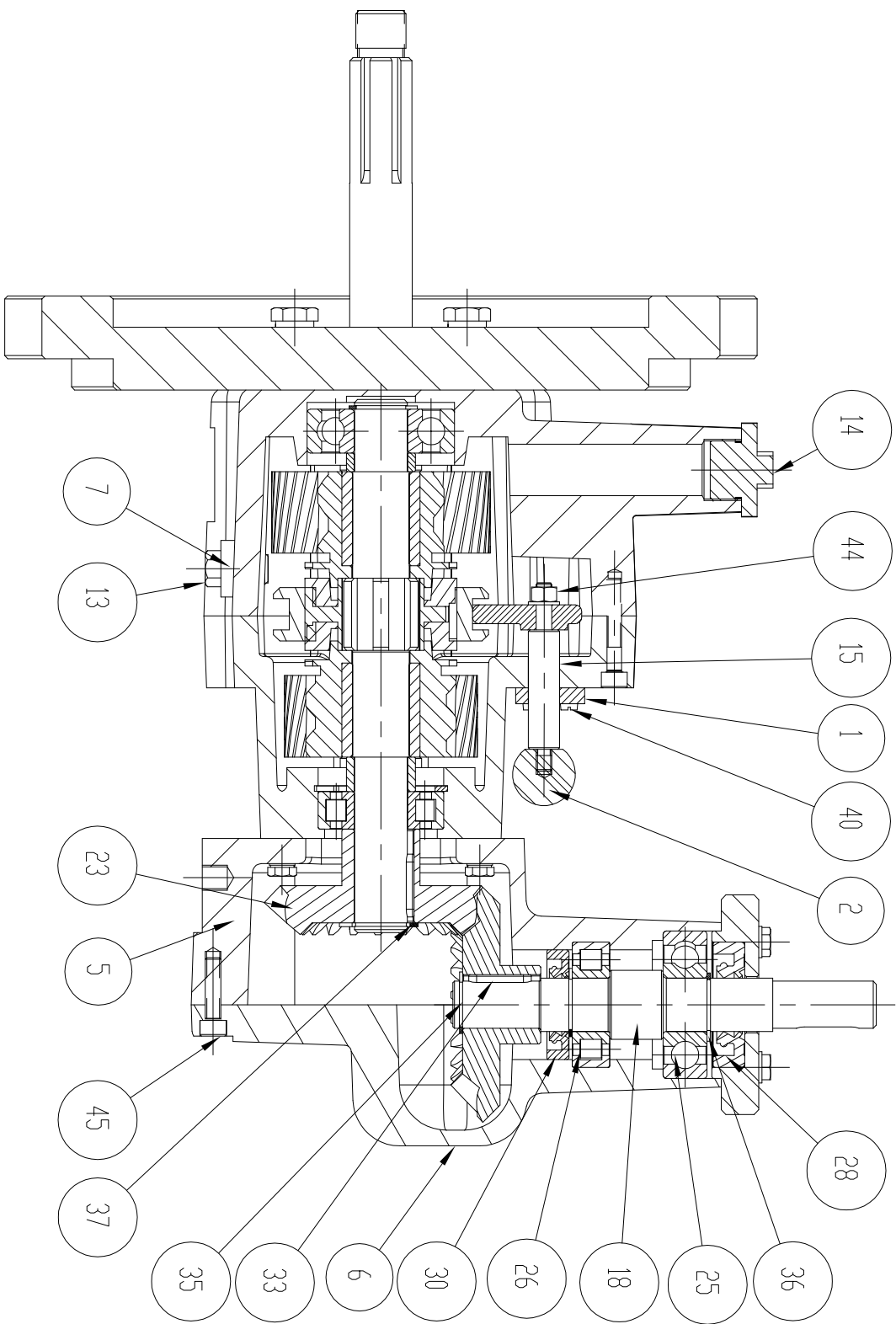
Díl	Počet kusů	Cena
zubová spojka Tschannormex E-067/82ShA	1	976,50 Kč
válečkové ložisko NUP 203 ECP	2	1964,56 Kč
kuličkové ložisko 6303	2	200,38 Kč
kuličkové ložisko 6204	2	169,88 Kč
těsnicí kroužek 17x35x7 HMSA10- RG	1	26,52 Kč
těsnicí kroužek 17x40x10 HMSA10- RG	1	56,87 Kč
těsnicí kroužek 20x42x7 HMSA10- RG	1	58,08 Kč
kluzné pouzdro PSM 182530 A51	2	228 Kč
spojovací materiál (šrouby, podložky, pojistné kroužky, matice)	-	95 Kč
CELKEM	-	3775,79 Kč


8 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zkonstruovat pohonnou jednotku pro hasičské motorové čerpadlo podle zadaných parametrů. Součástí práce bylo i zasvěcení čtenáře do historie požárních stříkaček a používaných čerpadel, které tyto stroje obsahují. Při zpracovávání jsme postupovali podle předem připraveného pořadí úkolů. To velice ulehčilo práci při organizaci času. Celý postup konstrukce převodového ústrojí je uveden v kapitole 5. Ústrojí se neobejde bez správně navrženého rámu. Rám musel splňovat požadavky na tuhost a snadnou manipulaci. Na tyto podmínky bylo zapotřebí celou dobu dbát a splnit je. Pro ukázkou, práce obsahuje analýzu pomocí metody konečných prvků, která nám sdělila velikost průhybu a napětí v rámu. Pro provedení výpočtu jsme zvolili program Ansys Wokbench 14.5. Při návrhu jakéhokoliv zařízení je kladen důraz na cenu. Pokusili jsme se jí vypočítat v kapitole 7. Konečnou cenu není možné přesně stanovit z důvodu nedostatku potřebných informací. Kalkulace byla provedena pouze na díly, které se dají koupit. Jedná se normalizované součásti a zubovou spojku. Při vypracování bakalářské práce jsme postupovali podle určených pravidel. Pohonný systém byl navrhnout podle požadovaných parametrů a konstrukčních pravidel. Cíle práce jsme splnili.

Použitá literatura:

- [1] ŠUMAN-HREBLAY, Marián. *Hasičská vozidla: česká a slovenská hasičská technika od roku 1904 do současnosti*. Brno: ComputerPress, 2010. Autosalon (ComputerPress). ISBN 978-80-251-3134-3.
- [2] MELICHAR, Jan. *Úvod do čerpací techniky*. V Praze: České vysoké učení technické, 2012. ISBN 978-80-01-05056-9.
- [3] *Druhy čerpadel* [online]. [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://strojni-projektant.webnode.cz/l/druhy-cerpadel/>
- [4] *Odstředivé čerpadlo* [online]. [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.frostpattaya.com/odstredive-cerpadlo-a-princip-cinnosti/>
- [5] *Montážní a provozní návod: TSCHAN elastické spojky NOR-Mex E* [online]. [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.tyma.cz/files/spojky/bawn001-cze-1.pdf>
- [6] CHUCHMA, Ondřej. *Současný stav a vývojové tendence v konstrukci převodek osobních automobilů*. Brno, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Dostupné také z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30290486.pdf>
- [7] *Oběžné kolo* [online]. [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <https://www.probo-nb.cz/obezne-kolo-10-11-mm-standard-p626/>
- [8] BUREŠ, Miroslav. *Ozubená kola a soukolí: Licování a pevnostní výpočet*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007. ISBN 978-80-7372-264-7.
- [9] PRÁŠIL, Ludvík. *Únava materiálu strojních součástí při periodickém zatěžování*. Dostupné z: http://www.kst.tul.cz/podklady/casti_fs/podklady/Unava_materialu_strojnich_soucasti_pri_periodickem_zatezovani.pdf
- [10] *Katalogy ložisek* [online]. [cit. 2018-11-19]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/index.html>
- [11] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [12] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů: stručný přehled*. Vyd. 5., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-183-2.
- [13] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů: stručný přehled*. Vyd. 5., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-184-9.



Země		Da-tun		Index	Podpis		TU v Liberci SESTAVA_KOMPLET
Měřič		Měřič					
Pozn.		Kreslil		Distykcile_H			
1:2		Předkousel		Technolog			
C. sestavu		Technolog				Nový	
C. sestavy		Norma				Os. výkresu	
Stavý vyřet.		Schválil				S-1	
Doy vyřet.		Da-tun		06-12-2008			

ODK.	OZNACENÍ	POLOTOVAR	CIS. ZASOBNÍKU	MN.
	VYKRES	MATERIAL	POZNAMKA	JED.
1	KRYT_RADICI_PAKA		-	1
	-	-	-	ks.
2	RADICI_PAKA_2_CAST		-	1
	-	-	-	ks.
3	SKRIN_1_OBR		-	1
	-	-	-	ks.
4	SKRIN_2_OBR		-	1
	-	-	-	ks.
5	SKRIN_3_OBR		-	1
	-	-	-	ks.
6	SKRIN4_OBR		-	1
	-	-	-	ks.
7	TESNENÍ_VYPUST		-	2
	-	-	-	ks.
8	VÍČKO_VYSTUP		-	1
	-	-	-	ks.
9	VYMEZOVACÍ_KROUZEK_PŘEDLOHA_1		-	1
	-	-	-	ks.
10	VYMEZOVACÍ_KROUZEK_PŘEDLOHA_2		-	1
	-	-	-	ks.
11	VYMEZOVACÍ_KROUZEK_VYSTUP_1		-	1
	-	-	-	ks.
12	VYMEZOVACÍ_KROUZEK_VYSTUP_2		-	1
	-	-	-	ks.
13	ZÁMŤKOVÁ_ZÁTKA_VYPUST		-	2
	-	-	-	ks.
14	ZÁMŤOVÁ_ZÁTKA_VSTUP		-	1
	-	-	-	ks.
15	TYČ_RADICI_PAKY		-	1
	-	10 420.0	-	ks.
16	VÍČKO_VSTUP		-	1
	-	10 420.0	-	ks.
17	PŘEDLOHOVÁ_HŘÍDEL		-	1
	-	11 343.0	-	ks.
18	VSTUPNÍ_HŘÍDEL		-	1
	-	11 343.0	-	ks.
19	VYSTUPNÍ_HŘÍDEL		-	1
	-	11 343.0	-	ks.
20	OCEL_SOUKOLÍ_1_ST			1
				ks.
21	OCELN_SOUKOLÍ_2ST			1
				ks.
22	KLUZNE_POUZDRO_PSM_182530_A51			2
				ks.

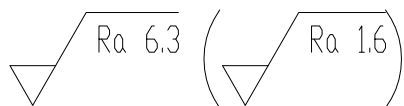
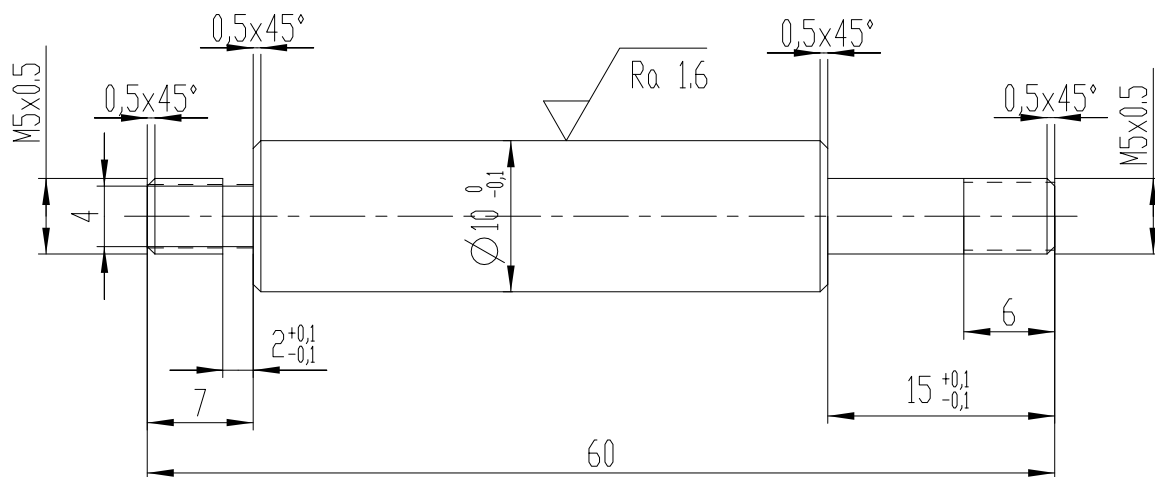
Změna		Datum	Index	Podpisy	 TU v Liberci Název KUSOVNÍK_1 Typ K-1 Cis.vykresu List
Meritko	Pozn.	Navrhl			
N		Kreslil	ODSTRČILIK		
		Prezkoušel			
C.seznamu		Technolog			
C.sestavy		Normaliz.			
Starý vykr.		Schválil			
Nový vykr.		Datum	06-12-2018		



23	KUZEI_SOUKOLJ			1
				ks.
24	LOZISKO_SKF_6204			2
				ks.
25	LOZISKO_SKF_6303			2
				ks.
26	LOZISKO_SKF_NUP_203_EOP			2
				ks.
27	SYNCHRON_SPOJKA			1
				ks.
28	TES_KROUJ_17X40X10_HMSA10_RG			1
				ks.
29	TES_KROUJ_20X42X7_HMSA10_RG			1
				ks.
30	TES_KROUZEK_17X35X7_HMSA10_RG			1
				ks.
31	Podlozka 5	CSN 02 1740		10
				ks.
32	Podlozka 8	CSN 02 1740		8
				ks.
33	PERO 5e7 x 5 x 20	CSN 02 2562		2
				ks.
34	PERO 6e7 x 6 x 20	CSN 02 2562		2
				ks.
35	POJISTNY KROUZEK 15 x 1	CSN 02 2930		1
			Normalni provedeni	ks.
36	POJISTNY KROUZEK 17 x 1	CSN 02 2930		3
			Normalni provedeni	ks.
37	POJISTNY KROUZEK 20 x 1,2	CSN 02 2930		3
			Normalni provedeni	ks.
38	POJISTNY KROUZEK 40	CSN 022931		1
				ks.
39	POJISTNY KROUZEK 47	CSN 022931		1
				ks.
40	SROUB M3 x 10	ISO 1207		5
				ks.
41	SROUB M5 x 16	ISO 4017		10
				ks.
42	SROUB M5 x 22	ISO 4017		4
				ks.
43	SROUB M8 x 30	ISO 4017		8
				ks.
44	MATICE M5	ISO 4032		1
				ks.
45	SROUB M5 x 20	ISO 4762		5
				ks.

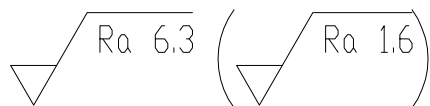
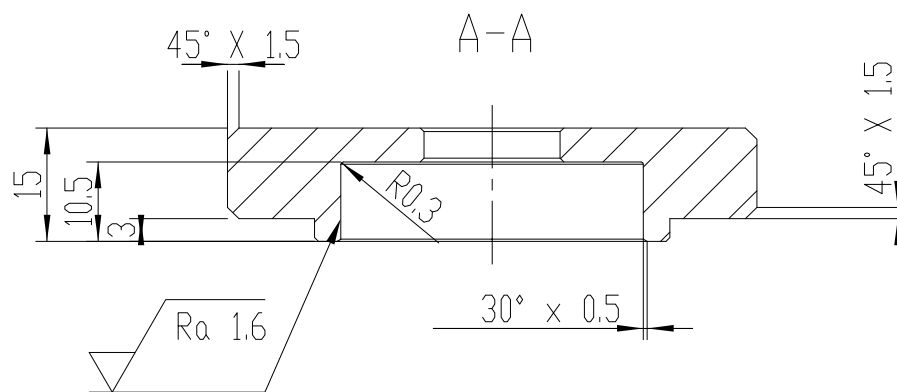
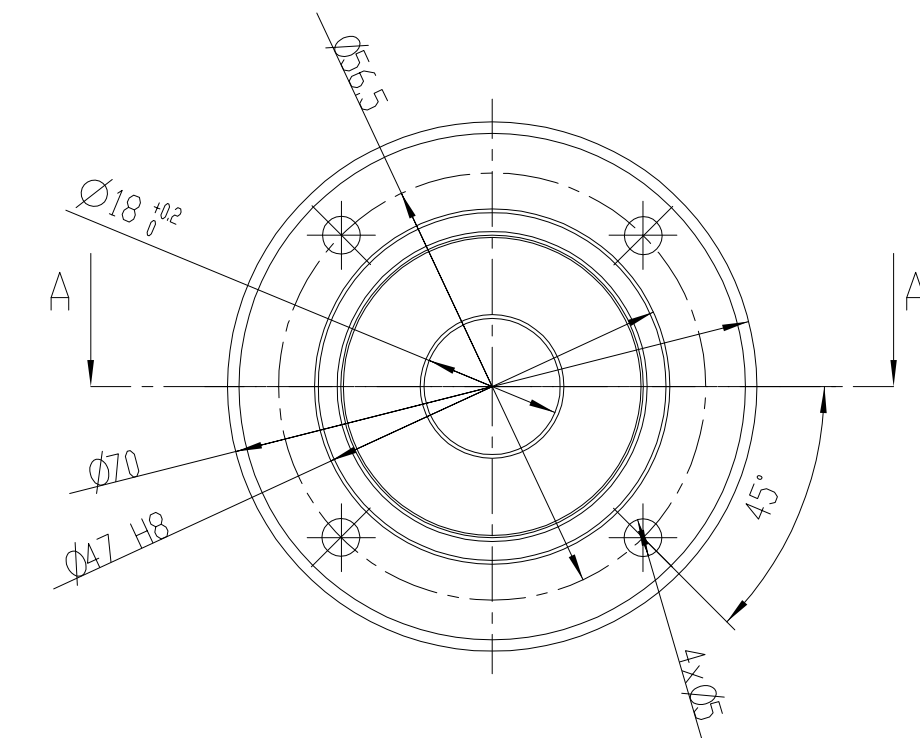
Zmena		Datum	Index	Podpisy	 TU v Liberci
Meritko	Pozn.	Navrhl			
N		Kreslil	ODSTRCLIK		Nazev
		Prezkousel			KUSOVNIK_2
C.seznamu		Technolog			Typ
C.sestavy		Normaliz.			Cis.vykresu
Stary vykr.		Schvalil			K-2
Novy vykr.		Datum	06-12-2018		
					List

46	SRCUB M5 x 30	ISO 4762		6
				ks.
47	PODLOŽKA 5	ISO 7089		5
				ks.



Zmena		Datum	Index	Podpisy	 TU v Liberci
Meritko	Pozn.	Navrh			
N		Kreslil	ODSTRČILIK	Nazev	
		Prezkoušel		KUSOVNIK_3	
		C.seznamu	Technolog	Typ	
C.sestavy		Normaliz.		Cis.vykresu	
Stary vykr.		Schválil		K-3	
Novy vykr.		Datum	06-12-2018		
					List

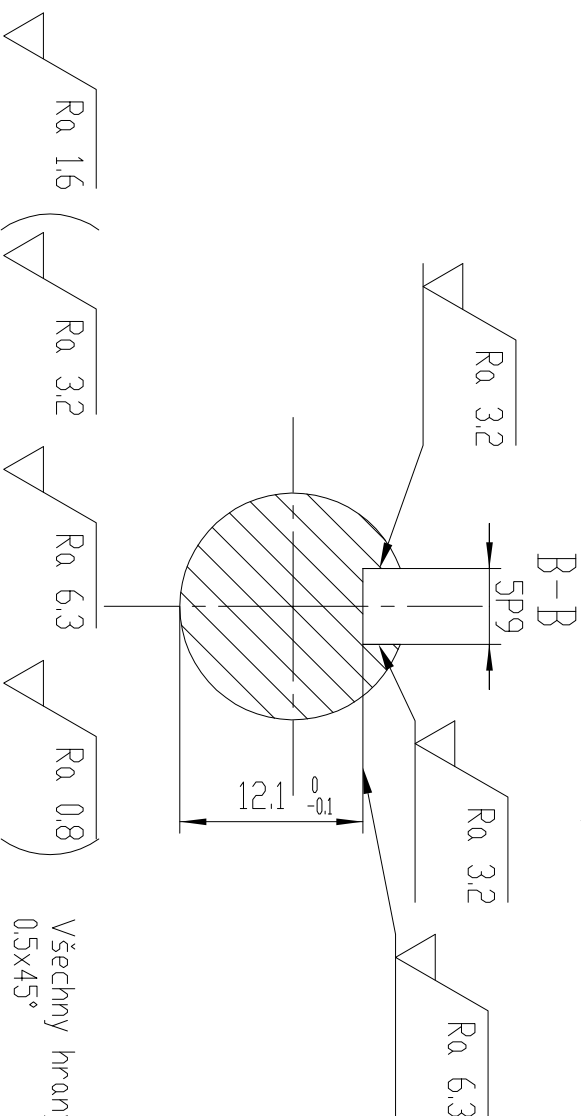
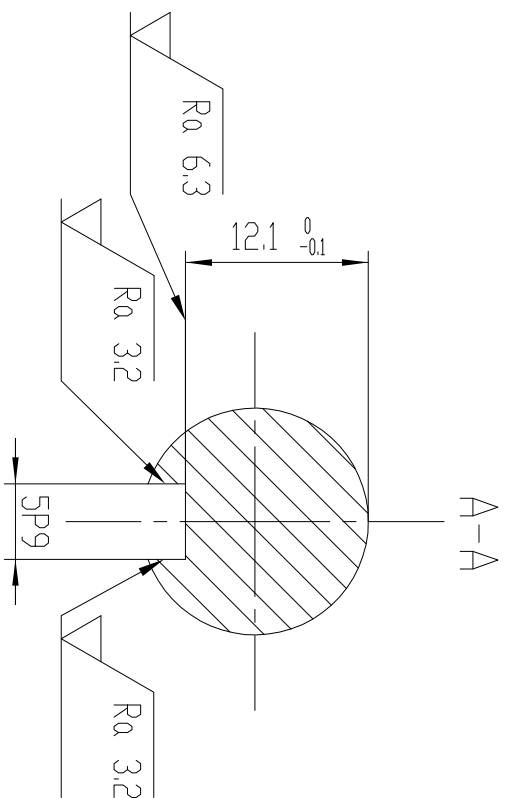
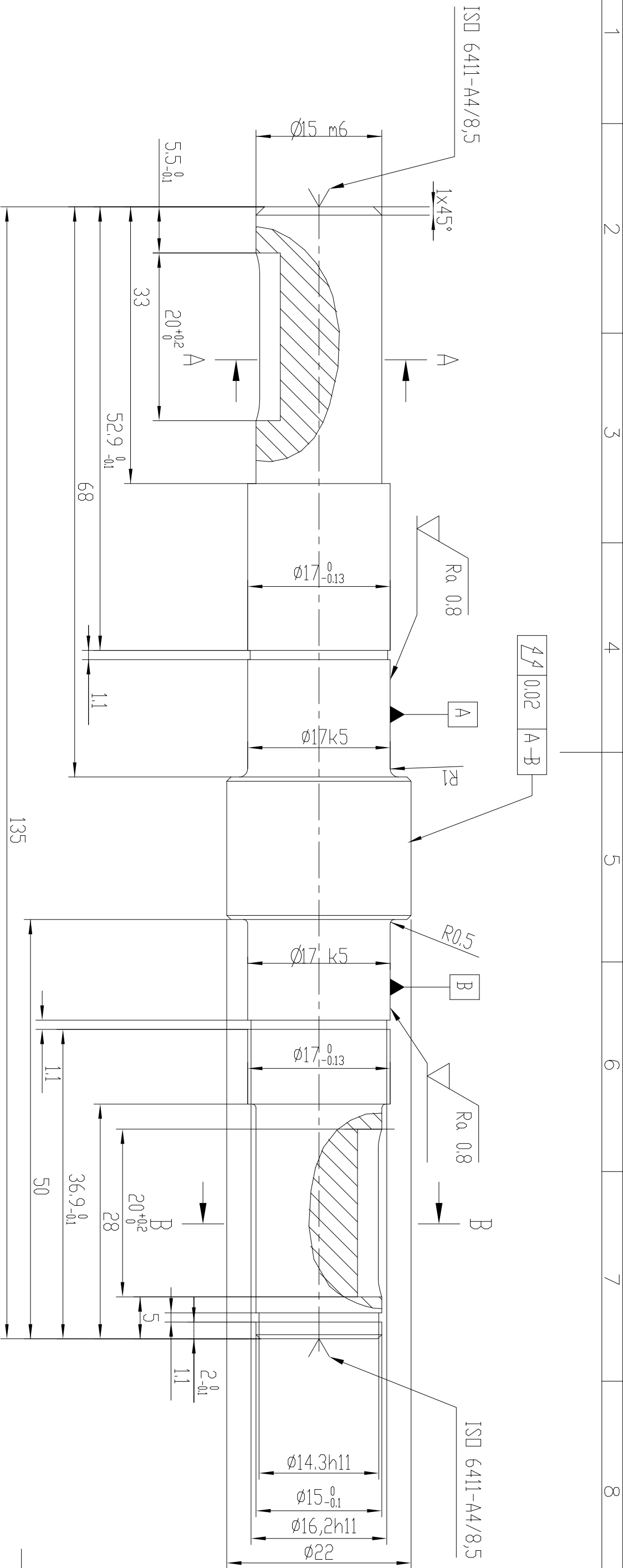



Rozm. - Polot.		PRŮMĚR_15X65		ČSN_425510				PŘESNOST PRESNOST	
			c)		Mater.	10420.0	Tř. odp.	001	TOLEROVÁNÍ ISO 8015
			b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg	PROMÍTÁNÍ 
			a)		 TU v Liberci				
Změna		Datum	Index	Podpisy					
Měřítka	Pozn.	Navrhl			Název TYC_RADICI_PAKY				
2:1		Kreslil	<input checked="" type="checkbox"/> DSTRCILIK						
		Přezkoušel			Typ Čís.výkresu 2				
Č.seznamu		Technolog							
Č.sestavy		Normaliz.			List 1				
Starý výkr.		Schválil							
Nový výkr.		Datum	30.11.2018						



Všechny hrany srazit 0,5x45°

Rozm.-Polot.		PRŮMĚR_75X20		ČSN_425510				PŘESNOST PRESNOST				
			c)		Mater.	10420.0		Tř. odp.	001		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
			b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.		kg	PROMÍTÁNÍ 		
			a)		<div> TU v Liberci</div> <div>VSTUPNI_VIKO</div>							
Změna		Datum	Index	Podpisy								
Měřítka	Pozn.	Navrhl										
1:1		Kreslil	ODSTRČILIK									
			Přezkoušel			Název						
Č.seznamu		Technolog			Typ							
Č.sestavy		Normaliz.			Čis.výkresu							
Starý výkr.		Schválil			3							
Nový výkr.		Datum	30.11.2018			List						



Rozm.-Počet		PRŮMĚR_25X140		ČSN_01425510				PŘESNOST ISO 2768-mK		
		c)		Mater.		11343,0	Tř. odp.	001	TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
		b)		Č. hm.		kg	Hr. hm.	kg	PROMĚTÁNÍ	
		a)								
Změna		Datum	Index	Podpisy		 TU v Liberci				
Měřítko	Pozn.	Navrhl								
2:1		Kreslil	DDSTRCILIK	Název						
Č. seznamu		Přezkoušel		VSTUPNÍ HRIDEL						
Č. sestavy		Technolog								Typ
Stavby výkr.		Normoliz.								Čís. výkresu
Nový výkr.		Schválil		4	List					
		Datum	30.11.2018							